

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN DER GUSSQUALITÄT BEIM
VAKUUMDRUCKGUSS- UND SCHLEUDERGUSSVERFAHREN
IN HINSICHT AUF DEN RELATIVEN KALTGUSS

vorgelegt von

Helmut Ritter

München

1980

Aus der
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität München
Direktor: Prof.Dr.E.Kraft

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN DER GUSSQUALITÄT BEIM
VAKUUMDRUCKGUSS- UND SCHLEUDERGUSSVERFAHREN
IN HINSICHT AUF DEN RELATIVEN KALTGUSS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Helmut Ritter

München

1980

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter:	Prof.Dr.Dr. Peter Fuchs
Mitberichterstatter:	Prof.Dr. Ewald Kraft
Dekan:	Prof.Dr. Wolfgang Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	12. Februar 1980



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Anregung zu den Untersuchungen
3. Der Einfluß der Gießbedingungen auf die Homogenität des Gußgefüges
 - 3.1. Legierungszusammensetzung
 - 3.2. Gußform
 - 3.3. Schmelztemperatur
 - 3.4. Erstarrungsablauf
4. Problemstellung und Zielsetzung
5. Gußgeräte
 - 5.1. Vakuum-Druckgußgerät CL-G (Heraeus)
 - 5.2. Tiegelschleuder TS 1 (Degussa)
 - 5.3. Hochfrequenz-Gußschleuder (Galloni)
6. Experimenteller Teil
 - 6.1. Prüfkörper
 - 6.1.1. Form
 - 6.1.2. Herstellung
 - 6.2. Materialien und Geräte
 - 6.2.1. Gußgeräte
 - 6.2.2. Legierung
 - 6.2.3. Einbettmasse
 - 6.2.4. Sonst. Geräte und Materialien
 - 6.3. Meßverfahren
 - 6.3.1. Meßanordnung
 - 6.3.2. Meßgenauigkeit

6.4. Vorversuche

6.4.1. Temperaturkontrolle des Vorwärmofens

6.4.2. Temperaturverhalten der Gußform

6.4.3. Temperaturkontrolle der Schmelzanlagen

6.5. Versuchsanordnung und -durchführung

6.5.1. Gußkanal

6.5.1.1. Form und Querschnitt

6.5.1.2. Ansatzstelle und Richtung

6.5.2. Einbetten

6.5.3. Vorwärmen

6.5.4. Gießen

6.5.5. Abkühlen

7. Auswertung und Ergebnisse

7.1. Guß- und Oberflächenbeschaffenheit

7.2. Paßgenauigkeit

7.3. Metallographische Eigenschaft

7.4. Härtemessung

8. Diskussion

9. Zusammenfassung

10. Anhang

11. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Das hohe technische Niveau der zahnärztlichen Prothetik wurde erst durch die Einführung des Gießverfahrens möglich und wäre ohne dieses undenkbar.

Während man im Altertum, im Mittelalter und in der Neuzeit bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts- der jeweiligen Technik entsprechend- die Metalle durch Kaltverformung wie Biegen und Hämmern verarbeitete, wurde erst durch OLLENDORF (1904 - Herstellung der Gußhohlform durch Einbetten eines Wachsmodelles; sog. "lost wax"- Verfahren) die Ära der modernen zahnärztlichen Prothetik eingeleitet. Der Grundstein zur Fertigung von paßgenauen, individuell hergestellten Zahnersatzteilen war gelegt.

Zunächst erfolgte der Guß noch durch Eingießen des geschmolzenen Metalles in die Gußform. Auf der Suche nach einer verfeinerten Technik wurden im Laufe der weiteren Entwicklung Gußgeräte und Gußverfahren erprobt, die allesamt darauf zielten, das Formfüllvermögen zu optimieren. Die Schwerkraft alleine brachte nicht den genügenden Druck auf, um die Gußhohlform bis in die feinsten Details ausreichend ausfließen zu lassen.

Als erster versuchte TAGGART 1907 das Ausfließen der Hohlform zu verbessern, indem er die Schmelze mit Lachgas in die Gußform hineinpreßte. In der Folgezeit entwickelten sich in der Hauptsache zwei Verfahren um den nötigen Einpreßdruck zu erzeugen. Zum einen bediente man sich der Saugkraft oder des Druckes von Gasen (Luft, CO_2 , Wasserdampf, Lachgas) bzw. einer Kombination dieser Kräfte. Zum anderen erzielte man den Druck durch die Zentrifugalkraft beim Schleuderguß- einem Verfahren, das bei Naturvölkern bereits seit Jahrhunderten in der Schmuckherstellung Verwendung findet.

Ziel aller Bemühungen war der glattwandige, paßgenaue und homogene Guß, sowie die vollständige und lunkerfreie Speisung der Gießform.

Als bewährte Verfahren sind das Schleuder- und Druckgußverfahren noch heute im Gebrauch.

Das Thema, mit welchem der beiden Verfahren denn nun die besseren Ergebnisse, d.h. die geringsten Makro- und Mikroporositäten zu erzielen seien, wurde in den letzten Jahren und Jahrzehnten hinreichend diskutiert. Beim Sichten der umfangreichen Literatur (2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 36) ist eine Diskrepanz in den Bewertungen der jeweiligen Gußqualität festzustellen. Verallgemeinernd kann man behaupten, daß die amerikanischen Autoren eher zum Gasdruckguß tendieren, während im europäischen Raum der Zentrifugalguß bevorzugt wird.

SPRENG lehnt den Luftdruckguß wegen des Vorkommens von Gasblasen im Gußobjekt ab und gibt dem Wasserdampfdruckverfahren den Vorzug. TAEGE³⁶ bewertet den Luftdruckguß negativ in Anbetracht der auftretenden Porositäten - ein einleuchtendes Argument, wenn man die verstärkte Adsorption von Gasen in der Schmelze bei erhöhtem Außendruck bedenkt. ANDERSON¹ befürchtet eine Abkühlung der Schmelze durch die Preßluft. KYSELOVA, KYSELA und MARES²² stellten roentgenologisch bei den durch Luft- oder Dampfdruck hergestellten Gußobjekten tropfenförmige Defekte verschiedener Größe, zum Teil in beträchtlichem Ausmaße fest. Beim Schleuderguß blieben diese Defekte aus, ebenso bei der Herabsetzung des Einpreßdruckes bei den Gasdruckapparaten. Die Vermutung lag daher nahe, daß beim Guß Druckluft in die Form mitgerissen wird und ursächlich das Auftreten der Defekte bewirkt. CRAWFORD⁴ und ROCHES³¹ jedoch erzielten die besten Resultate mit dem Luftdruckverfahren. Die Gußqualität dieser

Prüfkörper erwies sich den mit Zentrifugalapparaten gegossenen in Bezug auf Makro- und Mikroporositäten überlegen. HOLLENBACK¹⁸ schätzt ebenso den Luftdruckguß höher ein als den Schleuderguß. FAESCH¹² konnte beim Dampfguß die wenigsten, beim Luftdruckguß die meisten Porositäten feststellen.

Obwohl auch beim Zentrifugalverfahren die Gefahr von Gaseinschlüssen durch mitgerissene Luft besteht, empfiehlt die größere Anzahl der Autoren (2, 3, 11, 13, 22, 30, 36, 41) den Schleuderguß als Verfahren der Wahl. FINGER, QUAST und JUNG¹³ ermittelten beim Schleuderguß ein homogeneres Gefüge. Nach BEEK² und RITZE³⁰ ist die Degussa-Tiegelschleuder das beste Gußgerät. BONSACK³, LOEBICH^{23,24}, MARX²⁵ und WAGNER³⁹ können keinem Verfahren den Vorzug geben.

Wie auch neuere experimentelle Untersuchungen von SCHÖN³⁴, KUEFMANN²⁰, MARX²⁵ und FUCHS¹⁴ zeigen, kann man die Gußergebnisse der zur Zeit gebräuchlichen Gußgeräte beider Verfahren beim Guß unter normalen Laborbedingungen als gleichwertig ansehen. Ein signifikanter Unterschied zeigt sich vermutlich nur dann, wenn der Guß in Grenzbe-
reichen erfolgt. So wird in dieser Arbeit die Gußqualität von Vakuumdruckguß- und Schleudergußverfahren im Grenzbereich der herabgesetzten Vorwärmtemperatur untersucht.

2. Anregung zu den Untersuchungen

Das Vorwärmen der Gußform erfolgt aus drei Gründen:

- a) Ausschmelzen des Modellwachses
- b) Herabsetzung der Temperaturdifferenz zwischen Gußform und Schmelze
- c) Ausgleich der Gußkontraktion beim Erkalten der Schmelze durch thermische Expansion der Einbettmasse

Die Angaben der Industrie sowie der einzelnen Autoren über die optimale Vorwärmtemperatur der Gußmuffel beim Guß von Goldlegierungen variieren zum Teil erheblich. Während die Mehrzahl der Autoren (2, 13, 17, 21, 23, 27, 37, 41) auf 700°C vorwärmt, empfiehlt die Firma DEGUSSA⁹, die Vorwärmtemperatur stets nach der verwendeten Legierung auszurichten und gibt Temperaturen von 700°C für Degulor A, C, M und MO bzw. 750°C für Degulor B und S an. Bei Versuchen mit der Legierung Degulor M konnte nur bei der Vorwärmtemperatur von 700°C ein fehlerfreier Guß erzielt werden. Eine zu geringe (400°C und 550°C) oder zu hohe (950°C) Erwärmung führte zu Fehlgüssen. So zeigten sich zum einen vorwiegend Sauglunker durch zu früh erstarrende Schmelze, zum anderen Porositäten infolge eines verzögerten Erstarrungsablaufes.

MARX²⁵ und WAGNER³⁸ führen den Goldguß bei einer Vorwärmung auf 750°C aus.

Die Firma KERR¹⁹ sieht bereits in Vorwärmtemperaturen von 750°C und höher, speziell bei ihrem Produkt "Luster Cast", eine Ursache für Fehlgüsse gegeben, da mit der Verkohlung der oxidationshemmenden Zusätze zu rechnen ist. Außerdem besteht bei Temperaturen über 700°C die Gefahr der Gipszersetzung. (HEHRING¹⁷)

LOEBICH²³ erzielte beim Guß von 18-karätigem Gold mit einer auf 500°C vorgewärmten Form ein ausgesprochen fein-

körniges und homogenes Gefüge (300 Körner pro mm²). Ab 700°C trat bei weichen und mittelharten Gußgolden eine ausgeprägte Inhomogenität auf.

Für die Einbettmassen "Cristobalite Investment" und "Luster Cast" wird in der Verarbeitungsanleitung, sowie im Produktkatalog der Firma Kerr, die optimale Gießtemperatur zwischen 400°C und 510°C bzw. 450°C und 490°C angegeben. ANDERSON¹ empfiehlt, diese Einbettmassen über 350°C bis auf 450°C zu erhitzen. PHILLIPS²⁷ gibt 500°C an.

Sinn der Anregung des relativen Kaltgusses ist die Erzielung eines feinkörnigen, homogenen Gußgefüges. (Vergl. 3.4.)

Bestrebungen, den Guß in die relativ kalte Form auszuführen, bestehen schon lange. Die mangelnde thermische Expansion versuchte man vor allem durch Veränderung des Mischungsverhältnisses von Gips und Quarz und mit einer Modifizierung des Wasserzusatzes zur Einbettmasse auszugleichen.

Zum erstenmal wurden diese Gedanken 1932 in der Arbeit von Volland und Paffenbarger erwähnt. Kurz darauf entwickelte Scheu (1932-1935) das Prinzip der "hygroskopischen Abbindeexpansion": durch Zugabe von Feuchtigkeit während des Abbindeprozesses der Einbettmasse erreichte er nahezu ideale Expansionswerte. Die Vorwärmung der Muffel begrenzte Scheu auf max. 430°C. (2, 3, 11, 17, 30, 36, 41)

Auch die Firma Heraeus, als Hersteller des Vakuumdruckgußgerätes Combilabor CL-G, propagiert den relativen Kaltguß (100°C tiefer als üblich). Dies würde bedeuten, daß das Vakuumdruckgußverfahren dem Schleuderguß in Hinsicht auf das Formfüllvermögen überlegen wäre.

Auf der Grundlage exakt festgelegter, gleichwertiger Versuchsbedingungen soll daher untersucht werden, ob beim relativen Kaltguß der Vakuum-Druck-Guß im Vergleich zum Schleuderguß eine bessere Gußqualität aufweist.

3. Der Einfluß der Gießbedingungen auf die Homogenität des Gußgefüges

Bei allen durch Guß hergestellten zahnärztlichen Edelmetallarbeiten wird ein möglichst feinkörniges Gußgefüge angestrebt. Ein feinkörniges, homogenes Gußgefüge wirkt sich auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Gußkörpers stets positiv aus.

Verunreinigungen, speziell in Form von Metalloxiden der unedlen Legierungsbestandteile und Fremdkörpermoleküle lagern sich an den Korngrenzen ab. Da sich mit steigender Kornzahl die Gesamtoberfläche der Kristallite erhöht, wird bei einem feinkörnig erstarrtem Guß die Zwischenschicht der Verunreinigung an den Korngrenzen dünner sein als bei einem grobkristallinen Gefüge. Infolge der daraus resultierenden innigeren Verzahnung wird bei den homogenen, feinkörnigen Güssen ein Optimum der Festigkeit und Zähigkeit erreicht.

Grobkristalline Güsse zeigen häufig Lunker, ungenügende Verformbarkeit, verminderte Festigkeit und sind spröde und brüchig. Dies wirkt sich gerade bei den mechanisch stark beanspruchten zahntechnischen Arbeiten negativ aus. Inhomogene Kristallite sind dendritisch aufgebaut und die Legierung neigt daher im Mundmilieu zur Verfärbung. LOEBICH²³ erklärt diese Tendenz zum Anlaufen durch das Auftreten von Lokalelementen bei ausgeprägter Schichtkristallbildung. Bei einem feinkörnigen Gefüge unterbleibt die Schichtkristallbildung, da ein Konzentrationsausgleich durch Diffusion in den Kristallen infolge der nur kurzen Wege für die Atome innerhalb kürzester Zeit stattfinden kann. (1, 9, 10, 23, 27, 38, 40) Bei den heute gebräuchlichen zahnärztlichen Goldlegierungen ist dies bei Kornzahlen über $500/\text{mm}^2$ der Fall. Mit dem Auftreten von Schichtkristallen ist ab dieser Grenze nicht mehr zu rechnen.

Gerade in Hinsicht auf ein reaktionsfreies, den Kronenrand kontaktierendes marginales Parodontium, ist aus zahnärztlicher Sicht unbedingt ein chemisch indifferenter, feinkörniger und homogener Guß anzustreben.

Das Gefüge des Gusses wird durch folgende Faktoren entscheidend beeinflußt:

- a) Legierungszusammensetzung
- b) Beschaffenheit der Gußform
- c) Schmelztemperatur der Legierung
- d) Erstarrungsablauf der Schmelze

3.1. Legierungszusammensetzung

Die in der Zahnheilkunde verwendeten Golde sind je nach Verwendungszweck mit Edelmetallen der Platinreihe (speziell Platin, Palladium, Iridium), sowie Silber und Kupfer und geringen Mengen von unedlen Metallen (Zink, Kadmium, Nickel) legiert. Im Gegensatz zu den früher üblichen 18- bis 22- karätigen Goldlegierungen, die oft ein dendritisches, grobes Korn zeigten, wird heute das Gußgefüge durch den Zusatz von Metallen der Platinreihe erheblich verfeinert. Der Platinzusatz bedingt feineres Korn, größere Härte und Zähigkeit und bessere Anlaufbeständigkeit.

3.2. Gußform

Die Unebenheiten der Wände der Gußform wirken als Kristallisationszentren. Jede Rauigkeit der Wand kann als potentieller Kristallisationskeim wirken, von dem aus das Kristallwachstum beim Erkalten der Schmelze vonstatten geht. Eine glatte Wand wie z.B. bei dem Kokillenguß - ein in der Technik angewandtes Gußverfahren; die Gußform besteht hier aus poliertem Metall - wird sich also negativ auf die Keimzahl auswirken. Dies trifft für die zahntechnischen Güsse nicht zu, da die verwendeten Einbettmassen eine genügend raue Ober-

fläche aufweisen. Treten viele Kristallisationszentren auf, so wird das Kristallwachstum rasch beendet sein und zwar dann, wenn die Grenzsichten der Kristalle einander berühren. Dies ist umso schneller erreicht bei einer hohen Zahl von Kristallisationspunkten und es ergibt sich so das angestrebte kleinkristalline Gußgefüge.

3.3. Schmelztemperatur

Mit zunehmender Erhitzung der Legierung über den Liquiduspunkt verringert sich die Zahl der Kristallisationskeime in der Schmelze. Bei den Keimen handelt es sich um Atomaggregate, unter Umständen auch Fremdkörperteilchen (vergl. 3.2.), an die sich beim Erkalten der flüssigen Legierung weitere Atome anlagern und es somit durch Apposition zum Kristallwachstum kommt. Je geringer jedoch die Zahl der Keime ist, desto grobkörniger wird die Legierung erstarren. Das Überhitzen des Gußgutes läßt sich aber leider nicht umgehen, da mit zunehmender Temperatur die Viskosität und die Oberflächenspannung der Schmelze abnimmt und somit ein besseres Formfüllvermögen erreicht wird.

In der Regel wird 15 bis 30 Sek. überhitzt. Die Firma DEGUSSA⁹ empfiehlt für ihre Goldlegierungen der Degulor-Reihe eine Überhitzung von etwa 50°C, das entspricht bei der Legierung Degulor M einer Überhitzungsdauer von 30 Sek. PHILLIPS¹⁰ erwärmt die Goldlegierung 65°C über Liquidustemperatur. WEIKART⁴¹ und WAGNER³⁸ schlagen eine Überhitzung von 50-100°C, bzw. 100-125°C vor. LOEBICH²³ untersuchte die Kornzahlen in Abhängigkeit von der Überhitzungsdauer und erhielt bereits nach 15 Sek. Überhitzung einen sehr grobkörnigen dendritischen Guß. Die Abhängigkeit der Kornzahl von der Überhitzungstemperatur und -dauer zeigt Abb. 1.

3.4. Erstarrungsablauf

Der Erstarrungsablauf spielt bei der Entstehung von Gußfehlern und der Ausbildung des Kornes eine entscheidende Rolle.

Bei Metallen und Legierungen sind beim Abkühlen 2 Erstarrungstypen zu unterscheiden: der exogene und der endogene Typ. (Erstarrungstypen nach PATTERSON)

Die exogene Erstarrung setzt sich, an der Wand der Hohlform beginnend, ins Innere der Schmelze fort. Je nachdem, ob sich kompakte, grob- oder feindendritische Kristalle bilden, spricht man von exogener glattwandiger, rauhwandiger oder schwammartiger Erstarrung.

Beim endogenen Typ beginnt die Erstarrung gleichzeitig an jedem Ort innerhalb der Schmelze. Ist die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristalle gleich groß, erfolgt die endogen breiartige Erstarrung. Wachsen jedoch die Kristalle an der Wand der Gußhohlform schneller als im Zentrum der Schmelze, so kommt es zur endogen schalenbildenden Erstarrung.

(9, 37)

Bei zahntechnischen Edelmetalllegierungen ist die endogen schalenbildende Erstarrungsform am vorteilhaftesten. VOSS³⁷ und DEGUSSA⁹ erklären den Vorteil dieses Erstarrungstyps folgendermaßen: Durch die Bildung einer Randschale bleibt die Maßhaltigkeit des Gußstückes erhalten. Je tragfähiger die Schale ausgebildet sein wird, dies ist in der Reihenfolge glattwandige - rauhwandige - endogen schalenbildende Erstarrung der Fall, desto seltener werden sich Einfallstellen und Makrolunker zeigen.

Der Erstarrungstyp kann durch spezielle Legierungszusätze festgelegt werden, während die Schalenbildung durch die Vorwärmtemperatur der Gußform beeinflusst wird. Den Beobachtungen zufolge tritt die Schalenbildung bevorzugt bei niedrigen Vorwärmtemperaturen auf. (9)

Die Ausbildung des Kornes wird außerdem durch die Kristallisationsgeschwindigkeit beeinflusst. Hierunter versteht man die Geschwindigkeit des Kristallwachstums. Bei langsamer Abkühlung der Schmelze ist sie groß und als Folge bildet sich ein grobes, dendritisches Korn aus. Ein feines Korn entsteht, wenn nach dem Guß eine rasche Abkühlung erfolgt. In diesem Falle ist die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristallite vermindert.

Zu solch einem raschen Temperaturgefälle kommt es beim Guß in eine niedrig vorgewärmte Gußform. (38)

Den Einfluß der Vorwärmtemperatur auf die Kornzahl zahntechnischer Edelmetalllegierungen zeigt Abb. 2.

Nach der Erstarrung der Legierung beginnt ein Vorgang, der als Aushärtung bezeichnet wird. Maßgebend für die Endhärte der Legierung ist dabei die Abkühlungsgeschwindigkeit. Die Zusammensetzung der aushärtbaren Dentallegierungen ist so gewählt, daß bei einer Abkühlgeschwindigkeit von etwa $0,5^{\circ}\text{C}/\text{sec.}$, das entspricht der langsamen Abkühlung der Kuvette an der Luft bis auf Raumtemperatur, die optimale Endhärte erzielt wird. Eine höhere Abkühlgeschwindigkeit, die sich als Folge des relativen Kaltgusses oder durch das Abschrecken der Muffel in kaltem Wasser ergibt, wird somit eine geringere Endhärte des Gußkörpers bewirken (vergl. Abb. 3). (9, 30)

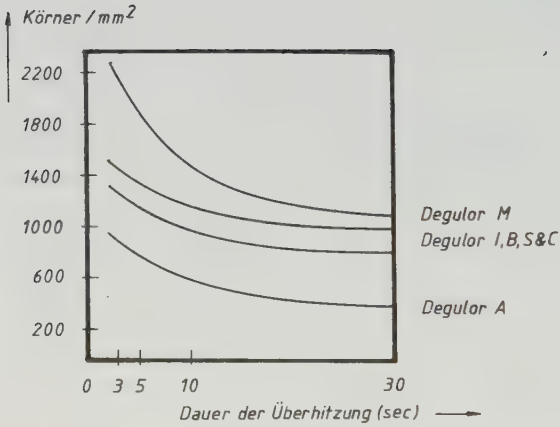


Abb. 1: Einfluß der Überhitzungsdauer auf die Kornzahl zahntechnischer Güsse (WAGNER³⁸)

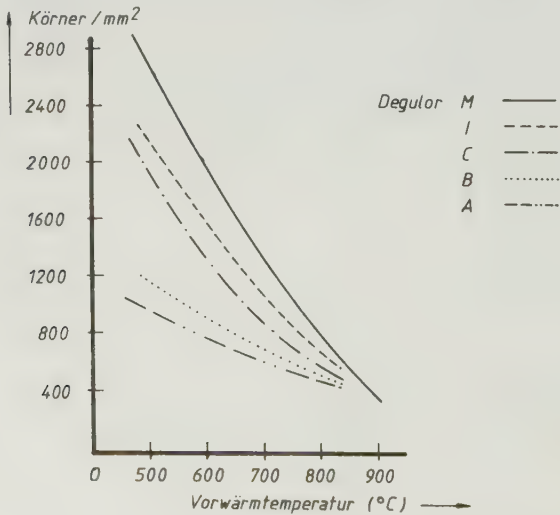


Abb. 2: Einfluß der Vorwärmtemperatur auf die Kornzahl zahntechnischer Güsse (WAGNER³⁸)

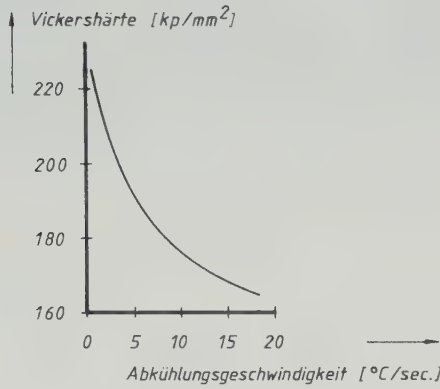


Abb. 3: Vickershärte zahntechnischer Güsse aus Degulor M in Abhängigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit der Gußform (DEGUSSA⁹)

4. Problemstellung und Zielsetzung

Auf dem Weg durch den Gußkanal erfährt die in den Hohlraum einfließende Schmelze eine Temperaturerniedrigung. Die Abkühlung der flüssigen Legierung wird umso stärker und schneller erfolgen, je höher die Differenz zwischen Gießtemperatur des Metalles (Degulor M: 900 - 970°C) und Vorwärmtemperatur der Gußmuffel (700°C und tiefer) ist. Da die Kohäsion der Schmelze mit sinkender Temperatur zunimmt, wird das Fließvermögen verschlechtert und im Extremfalle erstarrt die Legierung, bevor sie die Hohlform vollständig ausfüllt. Das Temperaturmaximum liegt im Zentrum der Gußform. (vergl. Abb. 15) In Richtung auf den Gußtrichter und den Muffelboden nimmt die Temperatur ab. Bedingt durch dieses Temperaturgefälle wird der dem Boden zunächst gelegene Teil des Gußobjektes der kritische Punkt in Bezug auf das vollständige Ausfließen der Hohlform darstellen. Die Begutachtung des Gußobjektes wird sich also auf diesen Bereich konzentrieren.

Entscheidenden Einfluß auf das vollständige Ausfließen eines Gußobjektes wird die Form und das Volumen des Körpers haben. Kompakte Gußkörper mit stumpfen Kanten werden bei tiefer Vorwärmtemperatur weniger Fehlstellen aufweisen als grazile Objekte mit dünnen Wänden und scharf auslaufenden Enden. Bei der Form des Prüfkörpers muß daher dieser Tatsache Rechnung getragen werden.

Während auf der einen Seite das verschlechterte Fließvermögen der Schmelze und das damit verbundene mangelnde Formfüllvermögen die extreme Herabsetzung der Vorwärmtemperatur begrenzt, ergibt sich zum anderen durch die unzureichende thermische Expansion der Einbettmasse beim relativen Kaltguß der zweite limitierende Faktor. Beim Abkühlen der Legierung erfolgt nach dem

Guß eine Volumenverringering des Gußkörpers. Diese Schrumpfung setzt sich zusammen aus der Erstarrungskontraktion beim Übertritt von der flüssigen zur festen Phase und aus der thermischen Kontraktion beim Abkühlen vom Soliduspunkt bis zur Raumtemperatur. Die Angaben über das Ausmaß dieser Schwindung differieren recht stark im Bereich von 1,25% bis 2% linear. (1, 9, 10, 17, 27, 30, 37, 38, 41) Diese Kontraktion des Metalles muß durch die Expansion der Einbettmasse ausgeglichen werden, wobei sich die Gesamtexpansion aus der Summe von Abbinde- und thermischen Expansion ergibt. Dabei ist die Abbindeexpansion zum kleineren Teil (ca. 20%), die thermische Expansion zum überwiegenden Teil (ca. 80%) beteiligt. Als Beispiel seien hier die gipsgebundenen Einbettmassen Luster Cast und Cristobalite Investment der Firma Kerr genannt: die Abbindeexpansion beträgt 0,34% linear, die thermische Expansion 1,26% linear. (Mittelwerte nach SPRINGER³⁵)

Das Expansionsverhalten der verschiedenen Fabrikate von Einbettmassen ist different (siehe Abb. 9), jedoch kann man einen steilen Anstieg der Expansion im unteren Temperaturbereich (200 - 300°C) mit einem nachfolgenden plateauartigen Stagnieren der Ausdehnung als charakteristisch für alle Einbettmassen bezeichnen. Die sprunghaften Veränderungen der Wärmeexpansion sind durch Molekulumwandlungen (Gipszersetzung, α - β -Cristobalit-Inversion etc.) bedingt.

Beim Reduzieren der Vorwärmtemperatur der Gußform wird daher ab einem bestimmten Bereich die Gußkontraktion durch die zu geringe Expansion der Einbettmasse nicht mehr vollständig kompensiert. Die Folge hiervon sind zu "enge" Kronen, d.h. das Gußobjekt läßt sich nicht ganz auf den Stumpf aufschieben und es entsteht ein Randspalt.

Kriterium beim Auswerten der Prüfkörper muß daher Gußqualität und Paßgenauigkeit sein.

5. Die Gußgeräte

Für die Untersuchungen standen 3 Gußgeräte zur Verfügung. Verglichen wurde das Vakuumdruckguß-Gerät CL-G der Firma Heraeus mit den beiden Zentrifugalgußgeräten TS 1 der Firma Degussa und der Galloni Hochfrequenzschleuder.

5.1. Vakuumdruckgußgerät CL-G (Firma Heraeus)

Der vertikal angeordnete Gießbehälter ist mit einem elektrisch beheizten Tiegelofen ausgestattet. (Widerstand-Heizung) Das Gerät erreicht eine Arbeitstemperatur von 1350°C und ist somit auch für die Verarbeitung von hochschmelzenden Aufbrennlegierungen geeignet. In dem vertikal im Tiegelofen stehenden Graphittiegel wird das Metall unter Sichtkontrolle geschmolzen. Die senkrechte Anordnung des Tiegels hat den Vorteil, daß sich das beim Erhitzen aus dem Graphit emittierte Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, bedingt durch die im Vergleich zur Luft höhere Dichte, über die Schmelze lagert und nicht aus dem Kohletiegel ausfließt. Das über der Schmelze liegende CO und CO_2 wirkt als Schutzgasatmosphäre und verhindert die Oxidation der Legierung.

Zum Gießen wird die vorgewärmte Muffel mit dem Gußtrichter nach unten über den Kohletiegel gebracht und der Deckel des Gießbehälters luftdicht verschlossen. Nach Betätigung des Schalters "Gießen" wird der Behälter auf 3-10 Torr evakuiert. Über ein Manometer kann dieser Vorgang verfolgt werden. Das Vakuum bewirkt unter anderem eine Eliminierung der in der Schmelze gelösten Gase und trägt somit zur Vermeidung von Lunkern und Porositäten im Guß bei. Da die Evakuierung der Gußform über die Gußkanäle und nicht durch die Einbettmasse

hindurch erfolgt, tritt somit die Forderung nach porösen Einbettmassen und Entlüftungskanälen in den Hintergrund.

Ist die Evakuierung abgeschlossen, wird der Gießbehälter mit einem Hebel um 180° geschwenkt. Die flüssige Legierung fließt aus dem Kohletiegel in die Gußmulde und füllt der Schwerkraft folgend nahezu die ganze Hohlform aus. Damit auch die fein auslaufenden Partien des Gußobjekts ausfließen, strömt nun Preßluft mit ca. 3 atü in den Behälter und preßt die Schmelze in die Hohlform.

Nach Beendigung des Gießvorganges wird der Gießbehälter in die Ausgangsstellung zurückgebracht und die Preßluft entweicht über ein Ventil. Nach der Entnahme der Gußmuffel ist das Gerät sofort wieder betriebsbereit, da die Funktion der Schmelzanlage im Gegensatz zur Horizontalschleuder durch den Gießvorgang keine Unterbrechung erfährt.

5.2. Horizontalschleuder TS 1 (Firma Degussa)

An einer durch Federkraft angetriebenen Achse befinden sich zwei opponent befestigte Hebelarme. Der eine ist beweglich angeordnet und trägt die Halterung für die Muffel und den Schmelzofen; der andere ist starr mit der Achse verbunden und dient mit dem verstellbaren Gegengewicht beim Schleudern zum Ausgleich der Zentrifugalkraft und zur Regulierung der Geschwindigkeit.

Durch Drehen der Achse im Uhrzeigersinn wird die Antriebsfeder gespannt. Der bewegliche Arm wird in der gleichen Richtung bis zum Anschlag abgewinkelt. Mit dem Arretierungshebel erfolgt die Fixierung der Gußschleuder im gespannten Zustand und gleichzeitig der Schluß der elektrischen Kontakte. Das Abwinkeln des Armes bewirkt beim Auslösen der Schleuder eine erhöhte

Anfangsgeschwindigkeit und somit einen erhöhten Einpreßdruck der flüssigen Legierung zu Beginn des Gießvorganges.

Vor dem Guß wird das Schmelzgut im Graphittiegel in den vorgewärmten Schmelzofen gebracht und die Legierung unter Sichtkontrolle geschmolzen. Hat die Legierung die Liquidustemperatur erreicht, wird die erhitzte Muffel im Küvettenlager abgelegt, der Schmelzofen mit Tiegel der Gußmuffel genähert und durch Betätigen des Auslösehebels der Gießvorgang eingeleitet.

Die Tiegelschleuder kann wahlweise mit einer elektrischen Hochleistungs-Schmelzanlage ($\text{Temp.}_{\text{max}} 1400^{\circ}\text{C}$), einer elektrischen Normal-Schmelzanlage ($\text{Temp.}_{\text{max}} 1200^{\circ}\text{C}$) oder mit einer Schmelzmulde für das Schmelzen mit Gasgebläse ausgerüstet werden. Das Schmelzen mit der Gasflamme ist jedoch eine Gießtechnik, die man wegen der vielen Nachteile (Oxidation und Verunreinigung der Schmelze, Gasaufnahme, ungleichmäßige Erwärmung, fehlende Schutzgasatmosphäre etc.) getrost als obsolet bezeichnen kann.

In unserem Falle war die Tiegelschleuder TS 1 mit der elektrischen Normal-Schmelzanlage ausgestattet.

5.3. Galloni-Hochfrequenzschleuder

Dieses Gerät arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie die Tiegelschleuder TS 1. Im Gegensatz hierzu erfolgt jedoch der Antrieb der Schleuderachse durch einen Elektromotor. Besonderes Merkmal ist die Hochfrequenz-Induktionsschmelzanlage. Dieses Verfahren wird von der Industrie schon längere Zeit zum Schmelzen von Metallen und auch zum Härten von Werkstücken verwendet. Mit einer wassergekühlten, um den Schmelztiegel angeordneten Kupferspule wird durch hochfrequente Wechselspannung ein Magnetfeld aufgebaut. Dieses Magnetfeld erzeugt induktiv Wirbelströme

im Schmelzgut. Durch den Stromfluß erwärmt sich die Legierung und schmilzt schließlich.

Der Vorteil dieses Schmelzverfahrens im Vergleich zu den Anlagen mit Widerstandsheizung zeigt sich zunächst in den extrem kurzen Schmelzzeiten (nur ca. 20% der sonst üblichen Zeit). Ferner wird das Schmelzgut homogen verflüssigt; die focale Überhitzung ist nicht möglich.

Sobald die Röhren des Hochfrequenzgenerators die Betriebswärme erreicht haben, dies ist in der Regel nach 2 bis 3 Minuten der Fall, ist das Gerät betriebsbereit. Ein längeres Vorwärmen des Schmelzofens entfällt also. Das eingeschaltete Gerät ist dann bei minimalem Energieverbrauch jederzeit betriebsbereit.

Zur Kontrolle der Schmelztemperatur kann zusätzlich ein fotoelektrisches Pyrometer zugeschaltet werden. Das Auslösen des Gießvorganges erfolgt dann automatisch bei einer festgelegten Temperatur. Eine Überhitzung der Legierung ist somit ausgeschlossen. Außerdem besteht die Möglichkeit, das Metall unter Schutzgasatmosphäre zu schmelzen.

Die Schleuder eignet sich für den Guß sämtlicher zahn-technischer Legierungen.

Die Kühlung der Induktionsspule erfordert einen Wasseranschluß.

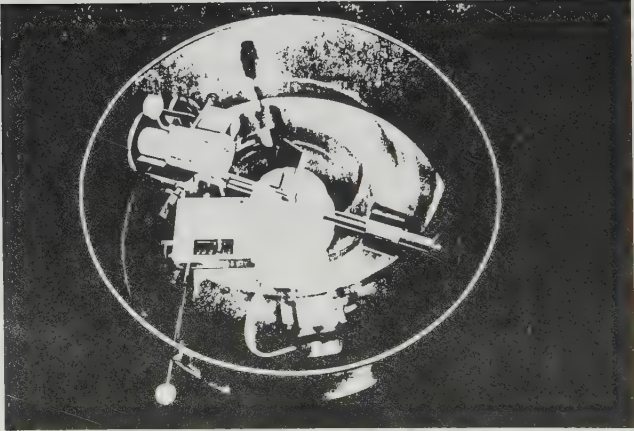


Abb. 4: Tiegelschleuder TS 1 (Degussa)

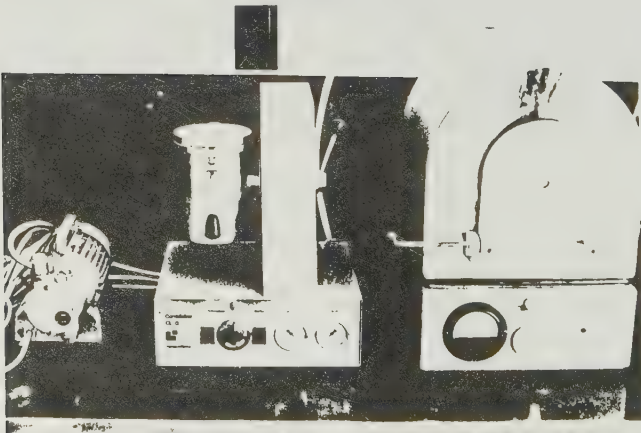


Abb. 5: Vakuumdruckgußgerät CL-G (Heraeus)

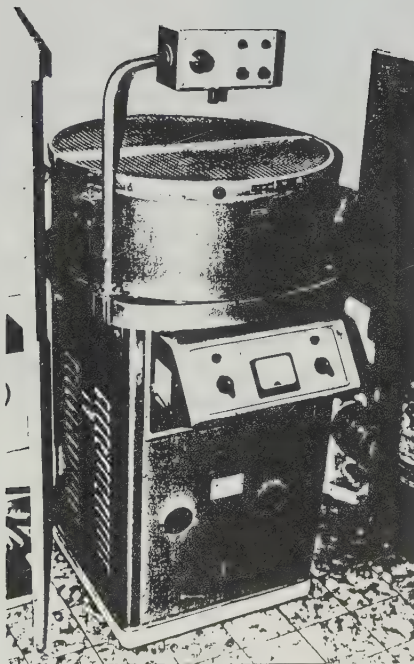


Abb. 6: Hochfrequenzschleuder (Galloni)

6. Experimenteller Teil

6.1. Prüfkörper

6.1.1. Form

Als Prüfkörper fand eine stilisierte Krone Verwendung, die nach Form und Abmessung etwa einer Prämolaren-Verblendkrone entsprach. (Abb.8) Auf die Modellation von Höckern und Fissuren wurde in Anbetracht der möglichen Fehlerquellen (unkonstantes Volumen, Wirbelbildung beim Einfließen der Schmelze) verzichtet.

Die Wanddicke des Prüfkörpers sollte in Hinsicht auf die Problemstellung so dünn dimensioniert werden, daß einerseits bei der höchsten Vorwärmtemperatur der Versuchsreihe ein einwandfreier Guß zu erzielen war, andererseits bei tiefen Temperaturen sich deutliche Fehlstellen zeigen mußten.

Der "Kronenrand" war scharf auslaufend gestaltet, um möglichst praxisnahe Versuchsbedingungen zu schaffen.

6.1.2. Herstellung

Auf einem gedrehten und anschließend polierten Stahlkegelstumpf (Form und Abmessung Abb.7) wurden aus Drufofen^R-Folien von 0,8 mm Stärke im Tiefziehverfahren Kunststoffkämpchen mit einer Wandstärke von 0,25 mm (Toleranz $\pm 0,025$ mm) hergestellt.

Zur Stabilisierung der Arbeitstemperatur erfolgte eine Vorwärmung der Heizspirale des Tiefziehgerätes 20 Minuten vor Arbeitsbeginn. Trotz exakter vertikaler Ausrichtung des Kegelstumpfes beim Tiefziehen und stets gleichbleibender Vorwärmzeit der Folien, zeigten sich zum Teil bei ein und demselben Objekt starke Schwankungen der Wandstärke, die im Bereich von 0,1 bis 0,3 mm lagen.

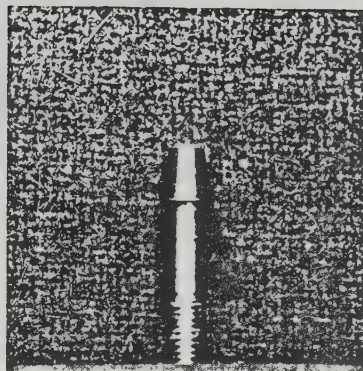
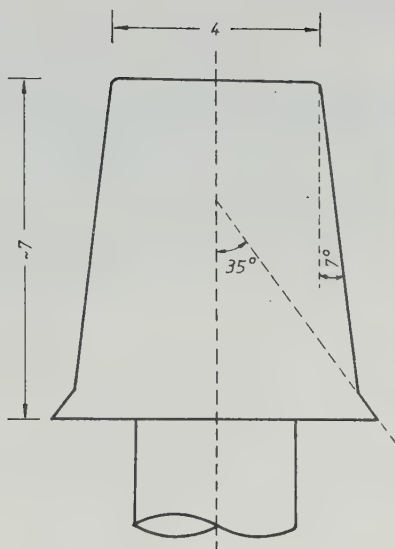


Abb.7: Kegelstumpf



Abb.8: Prüfkörper

Längsschnitt mit

Gußstift

Vergr. 10-fach

Die hergestellten Objekte wurden mit einem Schnell-taster vermessen und die in der oben angegebenen Toleranz liegenden Kappchen zur weiteren Bearbeitung aussortiert.

Um einen genau anliegenden und scharf auslaufenden Rand zu erzielen, wurde das Kunststoffkappchen etwa 1 mm vor dem Rand abgeschnitten und der "Kronenrand" mit Fräs-wachs ergänzt.

6.2. Materialien und Geräte

6.2.1. Gußgeräte

Vergl. Kapitel 5

6.2.2. Legierung

Verwendet wurde Degulor M, eine extra harte Gold-Platin-Legierung der Firma Degussa, die bevorzugt bei Kronen- und Brückenarbeiten verarbeitet wird. Die mecha-nischen Eigenschaften sind mit der früher üblichen Le-gierung 50/700/6 vergleichbar. (38)

Auszug aus den technischen Daten (lt. Degussa)

Typ nach FDI-Spezifikation:	extra hart
Schmelzintervall	970 - 900°C
spez. Gewicht	15,7 g/cm ³
Brinellhärte weich	145 kg/mm ²
ausgehärtet	220 kg/mm ²

6.2.3. Einbettmasse

Um Aussagen über die Gußqualität beim relativen Kalt-guß treffen zu können, mußte als spezielle Eigenschaft der Einbettmasse eine ausreichende Wärmeexpansion schon bei niedriger Vorwärmtemperatur gefordert werden.

Von dieser Grundforderung ausgehend, mußte eine Einbettmasse mit hohem Cristobalitgehalt Verwendung finden. Cristobalite Investment, ein Produkt der Firma Kerr, erfüllte die gestellten Bedingungen am besten. Die Einbettmasse zeigt im Vergleich zu anderen Produkten (Abb.9) gute thermische Expansionswerte schon bei relativ niederen Vorwärmtemperaturen und ist lt. Empfehlung des Herstellers und einiger Autoren (1, 3, 17, 27, 35, 41) bei Temperaturen zwischen 450 und 730°C, eventuell auch tiefer, verwendbar.

Wie die thermische Expansionskurve (Abb.10) zeigt, erfolgt zwischen 230 und 260°C ein sprunghafter Anstieg der Expansion. Diese starke Änderung der Ausdehnung ist durch die Umwandlung des α -Cristobalit zu β -Cristobalit, die bei höheren Temperaturen beständige Modifikation, bedingt. Zwischen 300 und 350°C erreicht die Expansion einen Wert, der mit dem Endwert bei 730°C vergleichbar ist. Eine leichte Senkung der Kurve zwischen 350 und 550°C ist die Folge der zweiten Kontraktionsphase des Gipses. Die maximale Expansion liegt im Bereich von 1,2 bis 1,3 % lin. Somit ergibt sich in Verbindung mit der Abbindeexpansion (Mittelwert 0,34 % lin.) nach SPRINGER³⁵ eine Gesamtexpansion von 1,54 bis 1,64 % lin., die wie die Kurve zeigt, schon bei 300°C erreicht wird und im Bereich von 260 bis 300°C nur geringfügig niedriger ist. In diesem Temperaturbereich ist also ein Ausgleich der Metallkontraktion, die etwa 1,5 bis 1,7 % lin. beträgt, gegeben.

Die verwendete Einbettmasse erwies sich als genügend stabil und zeigte keine Risse und Aussprengungen. Nach erfolgtem Guß ließ sie sich leicht unter fließendem Wasser vom Gußkörper entfernen. Eine exakte Reproduzierbarkeit des Mischungsverhältnisses von Pulver und Wasser war gegeben.

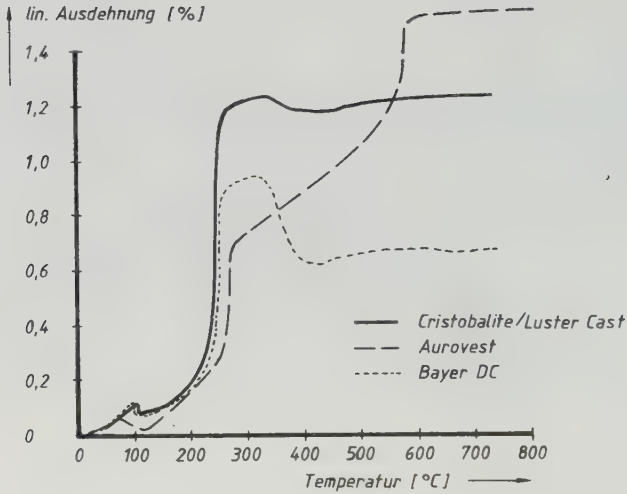


Abb. 9: Expansionskurvenvergleich von Einbettmassen
(nach SPRINGER³⁵)

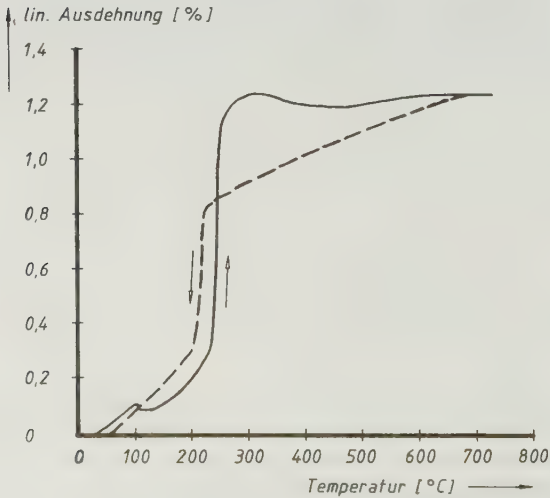


Abb. 10: Expansionsverhalten von Cristobalite / Luster
Cast beim Aufheizen bzw. Abkühlen (SPRINGER³⁵)

6.2.4. Sonstige Materialien und Geräte

Gußküvetten und -trichterformer: Fa. Degussa, Größe 1
Tiefziehgerät und Drufofen-Folie: Fa. Dreve
Vakuum-Einbettgerät: Multivac 3, Fa. Degussa
Gußwachs: Ruscher's Inlay-Wachs blau
Meßsonden: Nickelchrom-Nickel-Thermoelement, Fa. Degussa
Meßgerät: Digital-Millivoltmeter

6.3. Meßverfahren

6.3.1. Meßanordnung

Die Messung der Muffeltemperatur erfolgte mit einem Thermoelement. Für den zu untersuchenden Temperaturbereich erwies sich das Nickelchrom-Nickel-Thermoelement nach DIN 43710 mit einem Thermospannungsbereich von 0 bis 52,46 mV, entsprechend 0°C bis 1300°C, am geeignetsten. Die relativ große Differenz von 0,04 bzw. 0,05 mV pro °C wirkte sich dabei günstig auf die Ablesegenauigkeit aus.

Zur Messung der Temperatur wurde die entstehende Thermospannung einem Digitalvoltmeter zugeführt. Ein zweites Thermoelement befand sich in einem mit Eiswasser gefüllten Dewargefäß und lieferte die Bezugstemperatur von 0°C. Alle Kabelverbindungen waren durch die Verwendung von abgeschirmten Spezialkabeln gegen störende elektrische Felder isoliert, die sich gerade im mV-Bereich stark bemerkbar machen können.

Anhand einer Tabelle konnte die gemessene Spannung in °C umgerechnet werden.

Der Meßpunkt lag zentral in der Muffel, 8 mm vom Muffelboden entfernt. Dies war der Bereich, in dem sich der zu äußerst gelegene Teil des Gußkörpers befand und somit die kälteste Zone der Gußhohlform darstellte.

Zur exakten Feststellung der Vorwärmtemperatur hätte sich zunächst die direkte Messung, d.h. die Bestimmung der Temperatur in der auszugießenden Muffel, angeboten. Dazu wäre erforderlich gewesen, Wachsmo-
dell und Thermo-
element in ein und dieselbe Kuvette einzubetten. Dieses Meßverfahren ist jedoch mit zu vielen Nachteilen behaftet. Zum einen hätte die Meßgenauigkeit durch die dezentrale Lage des Thermoelementes gelitten; zum anderen wären bei der Ableitung der beiden Schenkel der Meßsonde erhebliche Schwierigkeiten (undichter Gießbehälter beim Vakuum-
druckguß-Gerät, starke Fliehkräfte beim Schleuderguß, Beschädigung der Einbettmasse, Meßfehler durch Verwendung mehrerer Thermoelemente etc.) aufgetreten.

Günstiger erwies sich das indirekte Meßverfahren: das Thermoelement wurde in eine zweite Muffel eingebettet und die Lötstelle der Meßsonde genau in den zu kontrol-
lierenden Bereich gebracht. Durch gleiche Wärmebehand-
lung von Guß- und Meßkuvette war die sichere Temperatur-
bestimmung gewährleistet.

6.3.2. Meßgenauigkeit

Laut Hersteller der Thermoelemente (Fa. Degussa) liegen die Abweichungen der Thermospannung von den Grund-
werten unter der nach der Norm zulässigen Grenze. Die Toleranzen beim Nickelchrom-Nickel-Thermoelement betragen nach DIN 43710

z.B.	bis 400°C	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
	bei 500°C	$\pm 4^{\circ}\text{C}$
	" 600°C	$\pm 4,5^{\circ}\text{C}$
	" 700°C	$\pm 5^{\circ}\text{C}$

Der Fehler im System (Meßgerät, Übergänge, Leitung, unre-
gelmäßige Netzspannung, Störfelder) ist mit ca. $\pm 1\%$ anzu-
setzen. Der Ablesefehler ist auf etwa $\pm 3^{\circ}\text{C}$ zu beziffern. Insgesamt kann mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 1,5\%$ bis 2% gerechnet werden.

6.4. Vorversuche

Ziel der Vorversuche war die Festlegung genau reproduzierbarer Ausgangspositionen für die folgenden Gießversuche. In erster Linie mußte die Konstanz der den Guß beeinflussenden Parameter geklärt werden.

Von Interesse war dabei vor allem die Messung der Thermozone und des Temperaturgefälles im Vorwärmofen und in der Gußform, sowie die Beeinflußbarkeit dieser Größen.

Anhand der Ergebnisse der Vorversuche wurde die günstigste Versuchsanordnung und -durchführung festgelegt.

6.4.1. Temperaturkontrolle des Vorwärmofens

Zur Vermeidung von unhomogenen Muffeltemperaturen erfolgte die Vermessung der Thermozone im Vorwärmofen.

Zunächst wurde der 20 cm lange Vorwärmofen bei geschlossener Ofentüre mit einem Thermoelement vermessen. Die Messung erfolgte mehrmals, jeweils bei konstanter Temperatur, beginnend an der Stirnseite des Schamottefutters und anschließend in Abständen von 1 cm bis hin zur Ofentüre. Abb. 11 veranschaulicht die gemessenen Werte. Innerhalb einer Zone von 8 cm kann die Temperatur als homogen bezeichnet werden. Diese Zone beginnt etwa 4 cm von der Stirnseite des Futters entfernt und ist der Bereich, in dem sich die Gußküvetten zum Vorwärmen befinden sollten.

Eine wesentliche Temperaturdifferenz zwischen Boden und Decke bzw. zu den Wänden der Schamotteauskleidung ist nicht feststellbar. ($\Delta T = 6-8^{\circ}\text{C}$) Allerdings konnte eine Diskrepanz zwischen der Ofenanzeige und der von uns im Inneren des Ofens gemessenen realen Temperatur beobachtet werden. Die Differenz betrug im Bereich von 700°C ca. 80°C . Hierüber wurde eine Korrekturtabelle angefertigt.

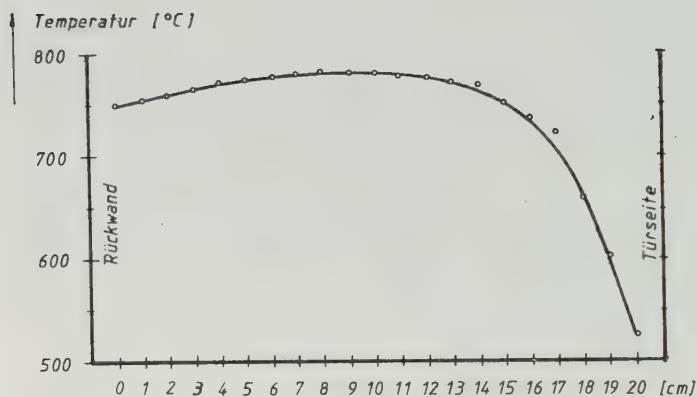


Abb. 11: Temperaturkontrolle des Vorwärmofens

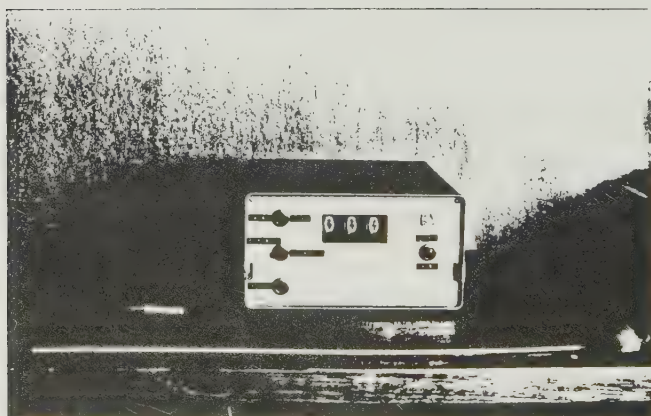


Abb. 12: Digitalvoltmeter mit Thermoelement

6.4.2. Temperaturverhalten der Gußform

Zunächst mußte die günstigste Lage des Gußobjektes zum Muffelboden gefunden werden. Der ideale Abstand des äußersten Punktes des Gußkörpers vom oberen Kuvettenrand wird von DEGUSSA⁹ im Bereich von 3 bis 5 mm angegeben. Dieser relativ geringe Abstand soll beim Erkalten der Schmelze eine gerichtete Erstarrung im Gußobjekt in Richtung auf den Gußkanalansatz sicherstellen. HEHRING¹⁷, PHILLIPS und WEIKART⁴¹ empfehlen Abstände zwischen 5 und 8 mm. LOEBICH²⁴ und SCHMITT³³ bevorzugen einen möglichst kurzen Gußkanal; KYSELOVA, KYSELA und MARES²¹ konnten bei einem geraden Gußkanal durch Verlängern bzw. Verkürzen des Gußstiftes im Bereich von 8 bis 15 mm keine grundsätzlichen Veränderungen der Gußqualität feststellen.

Eine möglichst nahe Beziehung der Hohlform zum Muffelboden ist nötig, damit die durch die einfließende Schmelze verdrängte Luft entweichen kann. Die modernen Einbettmassen besitzen eine ausreichende Porosität, die einen gewissen Spielraum bei der Einbettung erlaubt. Bei allzu dichter Lage des Gußobjektes am Muffelboden besteht jedoch, besonders bei größeren Gußkörpern, die Gefahr des Durchschlagens des Bodens.

Bei der Versuchsdurchführung war besonders wichtig, daß die vorgewärmte Gußform möglichst konstant die vorgegebene Temperatur beibehält. Im konkreten Fall erwies sich dies jedoch als unmöglich, da die extreme Temperaturdifferenz zwischen Muffel und Zimmertemperatur zu Thermo-schwankungen innerhalb der Einbettmasse führt.

Das Wärmezentrum, d.h. die Zone in der die vorgegebene Temperatur am längsten konstant gehalten wird, befindet sich auf der Mittelachse der Muffel, in der Mitte zwischen der Spitze des Gießtrichters und des Muffelbodens. (Abb. 15) Da hier auch die Schmelze zuletzt erstarrt, sollten sich in diesem Bereich auf keinen Fall Teile des

Gußobjektes, jedoch der verlorene Kopf, bzw. der Gußstiftansatz befinden, um eine Nachsättigung zu ermöglichen. Vom Wärmezentrum ausgehend wird in alle Richtungen ein Temperaturgefälle festzustellen sein. Während die Einbettmasse seitlich durch die isolierende Wirkung der Asbestauskleidung und der Metallhülse gegen Abkühlung geschützt ist, wird sich gegen den Gießtrichter und zum Muffelboden hin eine stärkere Wärmeabstrahlung ergeben, deren Ausmaß der Entfernung zur Oberfläche proportional ist.

Der Wärmeverlust wird ferner nicht nur von der Temperaturdifferenz Gußform - Zimmertemperatur beeinflusst, sondern ist vor allen Dingen von der Gußverzugszeit abhängig. Als Gußverzugszeit bezeichnet man die Dauer von der Entnahme der Muffel aus dem Vorwärmofen bis zum Zeitpunkt des Gusses. Diese Größe sollte auch in Hinblick auf die von SPRINGER³⁵ beschriebene negative Auswirkung auf das Expansionsverhalten, speziell von gipsgebundenen Einbettmassen, möglichst kurz bemessen werden.

Die Literaturangaben über den Wärmeverlust der Gußform bei Zimmertemperatur differieren wohl in der Hauptsache deshalb, weil in einigen Fällen der Wert auf Schätzungen beruht und sich nicht auf exakte Messungen stützt. Zum anderen sind kaum Angaben über die wichtigsten Werte, wie Ausgangstemperatur, Meßpunkt, Muffelgröße und Fabrikat der Einbettmasse vorhanden.

WEIKART⁴¹ empfiehlt, nicht mehr als 1 Minute verstreichen zu lassen; HOLLENBACK¹⁸ maximal 30 Sekunden. Der Wärmeverlust wird von FALCK mit 250 bis 300°C, von RICE auf 30°C (Muffelzentrum) und 50°C (Randzone) (zit.n.KUEFMANN²⁰), von WAGNER mit 100°C und von DREYER-JØRGENSEN¹¹ mit 50°C pro Minute beziffert. Messungen von KUEFMANN ergaben eine mittlere Abkühlungsgeschwindigkeit von 70°C pro Minute. (Gußmuffel Größe 3, Einbettmasse Deguvest-HFG, Meßpunkt: keine Angabe)

Um eigene Werte über das Thermogefälle in der Einbettmasse zu erhalten, wurden zwei Versuchsreihen mit einer Gußmuffel der Größe 1 und Cristobalite-Einbettmasse gefahren. Hierbei befand sich die Meßsonde einmal 5 mm, zum anderen 8 mm vom Muffelboden entfernt. Die Muffel wurde dem Vorwärmofen bei verschiedenen, festgelegten Temperaturen entnommen und der Temperaturabfall alle 10 sec. bestimmt. Für die später folgenden Gießversuche war der Wärmeverlust innerhalb der ersten Minute bedeutsam, da beim Heraeus-Druckgußgerät zum Einlegen der Muffel und zum Evakuieren des Drucktopfes 40 Sekunden benötigt wurden.

Die Messungen erbrachten die erwarteten Ergebnisse. Aus Tabelle A und Abb. 14 sind 2 Fakten ersichtlich:

- 1) Bei größerem Abstand vom Muffelboden bleibt die Temperatur besonders in der ersten Minute stabiler.
- 2) Der Wärmeverlust pro Zeiteinheit ist bei tieferer Ausgangstemperatur geringer.

Im Ausgangstemperaturbereich von 700 bis 760°C betrug die Temperaturerniedrigung beim Gußverzug

- 1) bei der Lage der Meßsonde 5 mm vom Muffelboden entfernt:
(Mittelwert aus 11 Messungen)

nach 10 Sekunden	2°C
20 "	5°C
30 "	8°C
40 "	11°C
50 "	16°C
nach 1 Minute	22°C
2 Minuten	78°C
3 "	152°C

- 2) bei der Lage der Meßsonde 8 mm vom Muffelboden entfernt:
(Mittelwert aus 5 Messungen)

nach 10 Sekunden	2°C
20 "	3°C
30 "	5°C
40 "	7°C
50 "	9°C
nach 1 Minute	12°C
2 Minuten	56°C
3 Minuten	127°C

Die Einbettung des Prüfkörpers erfolgte daher 8 mm vom Küvettenboden entfernt, um eine möglichst konstante Temperatur beim Gußverzug zu erzielen.

Das relativ träge Temperaturverhalten der Gußform fand auch in dem folgenden Versuch Bestätigung.

Da für die Versuche möglichst Laborbedingungen gelten sollten, wurde die Muffel nach dem Abbinden der Einbettmasse in den schon auf 200°C aufgeheizten Vorwärmofen gebracht (Phase des Wachs austreibens). Die Messung erfolgte alle 15 Sekunden. Eine Temperatur von 200°C konnte in der Gußform nach 22 bis 23 Minuten gemessen werden. Auffallend war, daß nach etwa 3 Minuten der Temperaturanstieg stagnierte und während der folgenden 12 Minuten fast keine Temperaturzunahme erfolgte. Da das Meßgerät erst ab 200°C geeicht war, kann diesem Bereich keine exakte Temperatur beigemessen werden. Das Stagnieren der Temperatur ist jedoch eine Folge der Wasserverdunstung und konnte somit beim 2. Probedurchlauf mit der bereits trockenen Gußform nicht beobachtet werden.

Nachdem sich die Ausbrenntemperatur stabilisiert hatte, erfolgte die Aufheizung auf 200°C. Am Digitalvoltmeter konnte die Temperaturbewegung im Ofen und in der Gußküvette verfolgt werden. Zu diesem Zweck befanden sich jeweils ein Thermoelement im Ofen neben der Gußform und ein

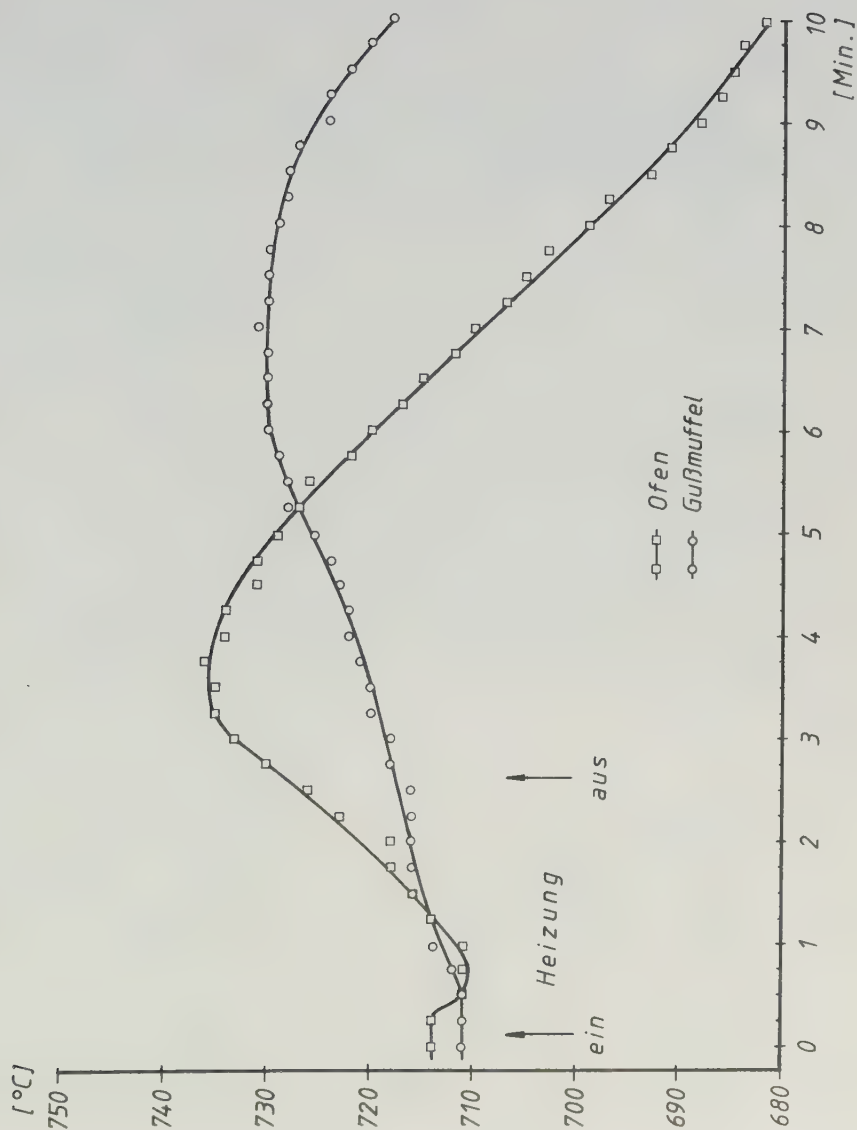


Abb. 13: Temperaturverhalten von Vorwärmofen und Gußkuvette beim Heizvorgang

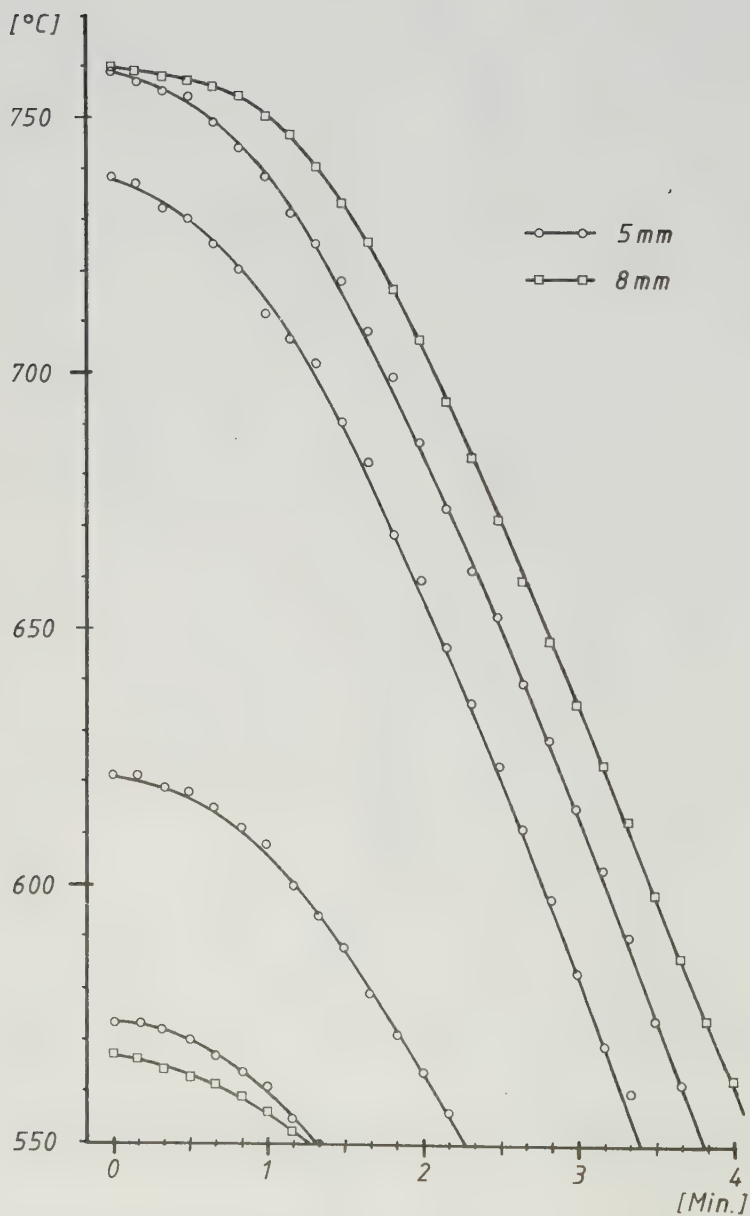


Abb. 14: Abkühlungskurven der Gußküvette beim Gußverzug

zweites eingebettet in der Muffel (5 mm Abstand). Um gleichzeitig die Temperaturen messen zu können, wurden die Spannungen der beiden Thermosonden dem Meßgerät über einen Umschalter zugeführt.

Abb. 13 zeigt die gemessenen Werte während eines Heizvorganges des Ofens. Nachdem der Regler die Heizung ausgeschaltet hatte, wurde die Energiezufuhr zum Vorwärmofen unterbrochen und die Messungen weiterhin alle 15 Sekunden durchgeführt.

Es ist ersichtlich, daß das Temperaturmaximum im Ofen erst nach dem Ausschalten der Heizung erreicht wird. Der höchste Meßwert in der Gußform wird wiederum mit Verzögerung registriert. Die Gußküvette reagiert also träge auf die Minima und Maxima im Ofen.

Auch ein kurzzeitiges Öffnen der Ofentüre übt keinen entscheidenden Einfluß auf die Muffeltemperatur aus. Der mittlere Temperaturabfall betrug nach der ersten Minute 4°C , nach der zweiten 11°C .

6.4.3. Temperaturkontrolle der Schmelzanlagen

Beim Guß war zu beachten, daß die Temperatur der Schmelze keinen allzu großen Schwankungen unterworfen war. Da sich bei erhöhter Schmelztemperatur die metallurgischen und besonders auch die physikalischen Eigenschaften der flüssigen Legierung ändern (Kap. 3), mußte die Legierung bei allen Gußgeräten möglichst auf die gleiche Schmelztemperatur erhitzt werden. Leichte Schwankungen der Schmelztemperatur waren trotzdem nicht zu vermeiden. Zum einen verursachte das Ein- und Ausschalten des Thermostats des Schmelzgenerators beim Heraeus-Gerät eine schwankende Temperaturkurve, zum anderen war beim Potentiometer des Degussa-Gerätes eine stufenlose Regulierung der Schmelzspannung nicht gegeben und nur eine Schaltung

in Intervallen möglich. Besonders bei diesem Gerät konnten Spannungsschwankungen des Stromnetzes nicht ausgeglichen werden, während beim Heraeus-Gerät eine stufenlose Anpassung in gewissen Grenzen erfolgen konnte.

Bei den Messungen sollte festgestellt werden wie schnell die Schmelzapparaturen die Endtemperatur erreichen, wie exakt die Temperatur beibehalten und in welcher Zeit die Legierung verflüssigt wird.

Die Geräte wurden jeweils auf die empfohlenen Werte eingestellt (Degussa: roter Bereich am Voltmeter; Heraeus: roter Punkt am Schmelzschalter).

Es konnte festgestellt werden, daß die beiden Gußgeräte mit Widerstandsheizung die angestrebte Temperatur von ca. 1000°C nach 15 bis 20 Minuten Aufheizzeit erreicht haben. Mehrmalige Messungen der Tiegeltemperatur - auch an aufeinanderfolgenden Tagen - ergaben Schwankebreiten von ca. 30°C .

Während sich bei den Schmelzeinrichtungen mit Ohm'scher Heizung die Temperatur nach einer Anlaufzeit auf ein bestimmtes Niveau einpendelte - dies geschah zum einen durch Thermostatregelung (Heraeus), zum anderen durch fixierte Heizspannung (Degussa) - konnte bei dem Gerät mit Induktionsschmelzanlage (Galloni) keine konstante Schmelztemperatur festgelegt und gemessen werden. Infolge der induzierten Kreisströme wird die Legierung bis zur Verdampfungstemperatur erhitzt, falls eine optische oder fotoelektrische Kontrolle unterbleibt. Eine Messung war unmöglich, da die induktive Erhitzung die Schenkel des Thermoelementes zum Schmelzen brachte.

Die Schmelzzeit richtet sich nach der Menge der zu schmelzenden Legierung.

Für 3 g Degulor M konnte gemessen werden:
bei der Widerstandsheizung 4 bis 4,5 Minuten,
beim Induktionsschmelzen 40 bis 50 Sekunden

6.5. Versuchsanordnung und -durchführung

6.5.1. Gußkanal

Entscheidend für einen fehlerfreien Guß ist u.a. die Form, der Querschnitt, die Ansatzstelle am Objekt und die Richtung des Gußkanals.

6.5.1.1. Form und Querschnitt

Über Form und Stärke des Speisers liegen zahlreiche Veröffentlichungen und Angaben vor. (1, 3, 9, 13, 17, 21, 24, 27, 33, 37, 39, 41 u.a.)

Die Empfehlungen für den Durchmesser bewegen sich im Bereich von 1,5 bis 3 mm. Angaben von minderen Stärken, die mitunter auch noch in neueren Arbeiten Erwähnung finden, beziehen sich auf das Schmelzen im Gußtrichter und dürften daher nur noch von nostalgischem Interesse sein. Ein Durchmesser über 3 mm bringt, wie die Versuche von DEGUSSA⁹ und KYSELOVA, KYSELA und MARES²¹ zeigen, keine Verbesserung des Gußergebnisses mit sich. Bei dem Guß mit dem 3 mm starken Gußstift konnten die geringsten äußeren Defekte beobachtet werden. (21)

Grundsätzlich läßt sich behaupten, daß die Dimension und die Form des Gußkanals nach individuellen Merkmalen des Gußobjektes (Form, Volumen, Wandstärke) und nach der jeweiligen Gießtechnik (Gußgerät, Zahl der Guß- und Entlüftungskanäle, verllorener Kopf, exzentrisches Reservoir, Legierung etc.) abgestimmt werden muß.

Für unseren Prüfkörper war ein geringes Volumen bei großer spezifischer Oberfläche (dünne Wandstärke) charakteristisch. In Hinsicht darauf verwendeten wir einen konfektionierten, zylindrischen Wachsdraht von 2,7 mm Stärke in Anlehnung an die derzeitige Tendenz und die Empfehlun-

gen von ANDERSON¹, DEGUSSA⁹, KYSELOVA, KYSELA und MARES^{21,22}, VOSS³⁷, WAGNER³⁹, WEIKART⁴¹, welche bei 2,5 bis 3,0 mm Durchmesser liegen.

Eine gerichtete Erstarrung vom Gußobjekt zum Gußkanal wird speziell beim relativen Kaltguß erfolgen. Die Nachsättigung des Gußkörpers, die infolge der raschen Erstarrung nur in geringem Maße stattfinden wird, ist durch den dicken Speiseransatz im Wärmezentrum der Muffel möglich. Ein Schmelzreservoir in Form eines sog. "verlorenen Kopfes" war somit nicht nötig. Im ungünstigen Fall kann das Reservoir wie KYSELOVA, KYSELA und MARES berichten seinerseits Ursache für Lunker und Porositäten durch Lufteinschlüsse sein (Prinzip der Wasserstrahlpumpe).

Zusätzliche Entlüftungskanäle fanden keine Verwendung.

6.5.1.2. Ansatzstelle und Richtung

Die Ansatzstelle des Gußkanals am Objekt darf weder eingeschnürt sein noch verstärkt werden, da in dem einen Fall die Schmelze an der Verengung zuerst erstarrt und somit eine Nachspeisung aus dem Gußkanal unterbleibt, im anderen Fall Porositäten im Objekt möglich sind.

Zur Vermeidung von Wirbelbildung und Absprengung von Teilchen der Einbettmasse soll die einfließende Schmelze möglichst direkt und ohne Strömungsumlenkung den Hohlkörper füllen. Ein exakter Ansatzpunkt des Gußkanals und eine günstige Richtung des Gußstiftes waren speziell unter den gegebenen Versuchsbedingungen sehr wichtig. Da infolge der relativ niedrigen Vorwärmtemperatur der Einbettmasse die Schmelze beim Durchtritt durch den Gußkanal schon erkaltet, würde durch schroffe Richtungsänderung der Strömung ein vollständiges Ausfließen der Form zusätzlich verhindert.

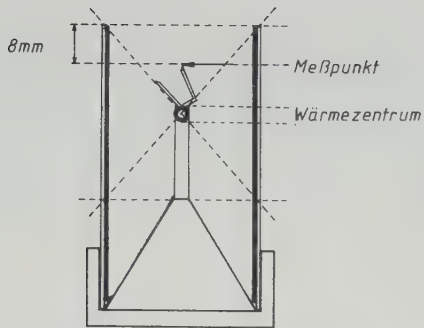


Abb. 15: Lage des Prüfkörpers in der Gußkivette und Meßpunkt der Temperaturmessung

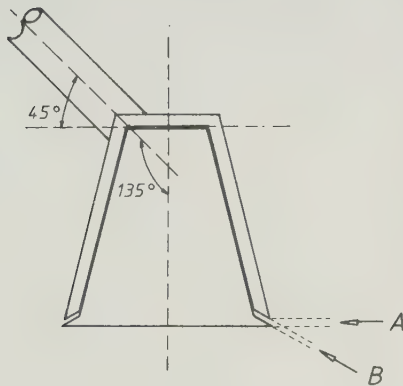


Abb. 16: Gußstiftansatz und Meßpunkte zur Prüfung der Paßgenauigkeit

Wir verwendeten einen geraden Gußkanal, der an der Kante von Kronenwand und Kronendeckel in dem von BONSACK³, DEGUSSA⁹, GRÜNDLER¹⁶, TAEGE³⁶ und WEIKART⁴¹ angegebenen günstigen Winkel von 45° zur Okklusalebene bzw. 135° zur Kronenachse ansetzte. (Abb. 16)

6.5.2. Einbetten

Da jeder Prüfkörper separat gegossen wurde, fanden Gußküvetten der Größe 1 mit dem entsprechenden Gußstrichterformer der Fa. Degussa Verwendung.

Wir wählten 7 Muffeln mit annähernd identischen Abmessungen aus und brachten sie auf die exakt gleiche Länge. Bei einer dieser Küvetten wurden in 8 mm Entfernung vom Hülsenende an zwei gegenüberliegenden Seiten etwa 1 mm starke Schlitzte eingesägt. Mit dieser Meßlehre konnten die Wachsmodele immer im gleichen Abstand vom Muffelboden justiert und in der Mitte der Gußküvette zentriert werden. Die genaue Entfernung von 8 mm war erreicht, wenn beim seitlichen Hindurchschauen die oberen Begrenzungen der beiden Schlitzte und der höchste Punkt der Wachsform zur Deckung gebracht werden konnten.

Pro Versuchsdurchlauf wurden jeweils 6 Muffeln vorbereitet, wobei 5 für die Aufnahme der Wachsmodele vorgesehen waren. Um die indirekte Messung der Vorwärmtemperatur (6.3.1.) durchführen zu können, wurde die sechste Muffel in ähnlicher Weise für die Aufnahme des Thermoelementes präpariert. Hierzu betteten wir einen abgerundeten Eisenstab von 4 mm Durchmesser in der gleichen Höhe der Wachskörper ein. Damit befand sich später die Lötstelle der Thermosonde auch zentral in der Muffel, 8 mm vom Boden entfernt.

Die Gußküvetten waren mit einem ca. 1 mm starken, feuchten und an den Enden leicht überlappenden Asbeststreifen

ausgekleidet. Zum Anfeuchten des Asbests wurde stets die gleiche Menge Wasser verwendet, um Schwankungen der Expansion infolge der Hygroskopie, die DREYER-JØRGENSEN¹¹ für Cristobalite zwischen 1,15% und 0,40% feststellte, auszuschließen. Die Asbestauskleidung dient zur Isolierung und zum Ausgleich der unterschiedlichen Expansionskoeffizienten von Stahlzylinder und Einbettmasse und sollte zur Vermeidung von Verzerrungen im Gußkörper bis an die Enden der Küvette reichen.

Zum Entspannen der hydrophoben Oberfläche wurden die Wachsmodele in Waxit^R getaucht und anschließend getrocknet (15).

Durch Transport und Lagerung besteht die Gefahr der Entmischung der Einbettmasse, wobei die kleineren und schwereren Teilchen zum Boden absinken, die leichteren Bestandteile zur Oberfläche streben. Um die damit verbundene Abweichung in Bezug auf Expansion und Porosität der Einbettmasse auf ein Minimum zu reduzieren, wurde vor jeder Verwendung die Einbettmasse gründlich durchgemengt. Außerdem kam während der gesamten Versuchsreihen nur Einbettmasse einer Charge zur Verarbeitung, da zwischen den verschiedenen Chargen Qualitätsunterschiede auftreten können und das Material einer Alterung unterliegt. (SPRINGER³⁵, BEEK²)

Ganz entscheidenden Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften der Einbettmasse übt das Verhältnis Wasser/Pulver aus. Das vorgeschriebene Mischungsverhältnis ist daher präzise einzuhalten (2, 11, 17, 27, 35, 36, 39, 41). Nach HEHRING¹⁷ fordern die amerikanischen Verarbeitungsvorschriften eine Wägegenauigkeit von 0,1 g für das Pulver!

In kleinerem Rahmen beeinflussen außerdem die Anmischdauer (WAGNER³⁹), die Wassertemperatur (BONSACK³, DREYER-

JØRGENSEN¹¹⁾ und die Aufheizgeschwindigkeit (SPRINGER³⁵⁾ das Expansionsverhalten.

Wir wählten das von der Firma Kerr bei Vakuumeinbettung empfohlene dickere Mischungsverhältnis von 15 cm³ Wasser auf 40 g Pulver. Die Masse wurde für alle 6 Muffeln zusammen in einem Gefäß mit dem Degussa-Multivac 3 - Gerät unter Vakuum 30 Sekunden lang angerührt. Da der Abbindeprozess bereits mit dem Mischungsvorgang beginnt, erfolgte hier die Zeitnahme für die Abbindezeit.

Die Gußküvetten wurden auf dem Rüttler vorsichtig mit Einbettmasse aufgefüllt und zwar so, daß ein Überschuß von 2-3 mm über das Muffelende hinaus entstand. Dieser Überschuß, der durch die Entmischungserscheinung beim Rütteln in der Zusammensetzung dünner ist, wurde 15 Minuten danach beim Planen des Muffelbodens entfernt und damit gleichzeitig der Abstand Gußobjekt - Muffelboden auf das exakte Maß eingestellt.

Die Abbindezeit betrug 45 Minuten.

6.5.3. Vorwärmen

Nach dem Abbinden wurden die Gußtrichterformer entfernt, das Thermoelement in den Hohlraum der dafür vorgesehenen Muffel eingebracht und dann alle vorbereiteten Gußformen in den auf 200°C aufgeheizten Vorwärmofen geschichtet. Diese Temperatur liegt unterhalb der Umwandlungstemperatur des Cristobalits und sollte beim Wachs austreiben nicht überschritten werden. Durch die zwischen 200 und 300°C einsetzende starke thermische Expansion, die mit der $\alpha - \beta$ - Cristobalite - Umwandlung verbunden ist, könnten Risse in der noch nicht vollständig getrockneten Einbettmasse entstehen.

Die Wachsaustreibungszeit war auf 50 Minuten festge-

legt, da die Drufolen-Folie später als das Wachs eliminiert wurde.

Das Umsetzen der Muffel vom Wärmeschränk soll ohne Verzögerung in einen auf die gleiche Temperatur aufgeheizten Vorwärmofen erfolgen, der dann erst auf die beabsichtigte Endtemperatur gebracht wird. Ist der Vorwärmofen zu heiß oder zu kalt, so kann die Einbettmasse einen Temperaturschock erleiden (9, 35). In der Versuchsreihe wurde dieser Forderung Rechnung getragen, indem zum Wachsaustreiben und Vorwärmen derselbe Ofen Verwendung fand. Nach dem Ausbrennen erfolgte die langsame Aufheizung auf die Endtemperatur von 700°C .

Die ableitenden Schenkel des Thermoelementes aus der Meßküvette führten durch eine Fuge in dem Schamottefutter des Ofens nach außen und anschließend erfolgte die Ableitung über ein abgeschirmtes Spezialkabel zum Voltmeter. Somit konnte jederzeit die Temperaturbewegung beobachtet werden.

6.5.4. Gießen

Zur Vermeidung von Temperaturschwankungen innerhalb der Schmelzanlagen erfolgte die Inbetriebnahme der Gußgeräte mindestens 30 Minuten vor dem ersten Guß.

An jedem Versuchstag fand vor und nach der Versuchsreihe eine Überprüfung der Schmelztiegel mit der Thermosonde statt. Die Temperatur bewegte sich dabei insgesamt im Bereich von 936 bis 1005°C.

Während sich die Meßküvette in der Zone der konstanten Temperatur im Vorwärmofen (6.4.1.) befand, waren die 5 Muffeln mit den Gußobjekten an der Stirnseite des Ofens gelagert. Nach Erreichen der Vorwärmtemperatur von 700°C wurde die zum Guß vorgesehene Muffel vom Stapel genommen und auf die gleiche Höhe der Meßküvette postiert.

Beim Gießen mit den Zentrifugal-Gußgeräten übt die im Gußkanal und Gußtrichter stehende Metallmasse einen Druck auf die in der Hohlform sich befindende Schmelze aus. Bei postuliertem konstanten Volumen von Gußstück und Gußkanal war ein gleichbleibendes Volumen der Schmelze Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit der Versuchsbedingungen. Die Masse des Schmelzgutes wurde auf 3 g Degulor M festgelegt und mit der Analysenwaage abgewogen. Die Menge Legierung reichte aus, um Gußobjekt und Gußstift vollständig zu speisen und im Gießtrichter befand sich ein Überstand von ca. 0,5 g Metall.

Zur Verwendung kam nur frische, unvergossene Legierung. Obwohl u.a. FINGER, JUNG und QUAST¹³, KERR¹⁹, WEIKART⁴¹ und DEGUSSA⁸ die Verwendung von bereits vergossenem Material bis zu einem bestimmten Verhältnis für unbedenklich erachten, wurde davon Abstand genommen, um die Gefahr von Fehlstellen infolge von Fremdkörpereinschlüssen auszuschließen.

Entsprechend der Zahl der zu vergleichenden Gußgeräte mußten 3 Versuchsreihen in der Folge Heraeus Combilabor Cl-G - Degussa Tiegelschleuder TS 1 - Galloni Hochfrequenzschleuder durchgeführt werden. Das Vorgehen bei jeder Versuchsreihe war gleichermaßen: Zunächst wurde ein Guß bei der Vorwärmtemperatur von 700°C durchgeführt. Anschließend erfolgte das Gießen bei jeweils um 50°C reduzierter Temperatur.

Durch Vorgabe der beim Gußverzug zu erwartenden Temperaturerniedrigung konnte die vorgewählte Gießtemperatur mit einer Genauigkeit von $\pm 8^{\circ}\text{C}$ erreicht werden.

Nach dem Ausbetten des Gußkörpers konnte festgestellt werden, ob das Gußobjekt vollständig ausgeflossen war und somit eine Eingrenzung des kritischen Temperaturbereiches in Abschnitten von 50°C erfolgen. Durch Unterteilung dieses Bereiches in Stufen von 10°C wurde dann der Temperaturpunkt ausgelotet, bei dem das Gußobjekt nicht mehr vollständig ausfloß. In der Umgebung dieses kritischen Punktes erfolgten dann einige Güsse in geringen Temperaturintervallen, um das Ergebnis zu objektivieren. Die Technik des Versuchsablaufes konnte bei allen 3 Gußverfahren im Prinzip beibehalten werden und wurde nur in kleinen Details modifiziert. Grundsätzlich war es das Bestreben, den Guß möglichst nach den Anweisungen des jeweiligen Geräteherstellers durchzuführen.

Heraeus Vakuum-Druck-Guß:

Während sich die Vorwärmtemperatur der Muffel im Ofen dem beabsichtigten Wert näherte, wurde die Legierung im Kohletiegel der Schmelzeinrichtung zugeführt, das Gerät auf die Einstellung "Schmelzen" geschaltet und das Metall unter Sichtkontrolle geschmolzen.

Sobald die Legierung zur Kugel zusammenfloß, wurde eine Stoppuhr gestartet und die beiden Muffeln mit dem

Gußobjekt zum einen und die Meßmuffel mit dem eingebetteten Thermoelement zum anderen gleichzeitig dem Vorwärmofen entnommen. Während die Meßmuffel auf eine Asbestunterlage zu liegen kam, wurde die zum Guß vorgesehene Muffel nach Anweisung (5.1.) in Gießposition gebracht, der Deckel des Gerätes geschlossen und der Druckbehälter evakuiert. Vom Beschicken des Gußgerätes bis zur vollständigen Evakuierung des Druckbehälters vergingen 35 bis 40 Sekunden. Daher erfolgte der Guß exakt 40 Sekunden nach dem kugelförmigen Zusammenfluß der Schmelze, d.h. die Legierung wurde jeweils 40 Sekunden überhitzt.

Nach dem Guß verblieb der Gußtopf noch 30 Sekunden in gekippter Stellung, danach erfolgte die Rückstellung in die Ausgangsposition und die Entlüftung des Druckbehälters.

Degussa - Tiegelschleuder:

Um eine reproduzierbare Zentrifugalkraft und -beschleunigung zu erreichen, wurde beim Spannen der Schleuder darauf geachtet, daß dieser Vorgang jeweils von demselben Ausgangspunkt erfolgte und zudem die maximale Federspannung zur Anwendung kam.

Die Überhitzungszeit betrug wie im vorhergehenden Falle 40 Sekunden, um gleiche Versuchsbedingungen zu schaffen. Nach dem Guß lief die Schleuder bis zum Stillstand aus.

Galloni - Schleuder:

Infolge der extrem kurzen Schmelzzeit wurden die Muffeln nicht erst nach dem Schmelzen des Goldes, sondern bald nach Einleitung des Schmelzvorganges dem Vorwärmofen entnommen.

Die von der Firma Galloni empfohlene Überhitzungszeit

von 10 Sekunden erwies sich als überhöht, da dann das Metall zu sieden begann. In Abänderung der Bedienungsanleitung betrug die Überhitzungszeit 3 Sekunden.

Der Schleudervorgang wurde nach 30 Sekunden beendet.

6.5.5. Abkühlen

Von der Abkühlungsgeschwindigkeit wird die Endhärte der Legierung beeinflusst. Die ausgegossenen Muffeln erkalteten an der Luft bei Zimmertemperatur. So konnte stets eine gleichmäßige Abkühlung mit der optimalen Geschwindigkeit von $0,5^{\circ}\text{C}/\text{sec.}$ erreicht werden (9). Durch diese Behandlung erfolgt eine Aushärtung der Legierung. Angestrebt wird eine Vickershärte von $220 \text{ kp}/\text{mm}^2$. (Abb. 3)

Den erkalteten Muffeln wurde das Gußstück entnommen und das Objekt unter fließendem Wasser von den Rückständen der Einbettmasse vorsichtig gesäubert. Eine Behandlung des Gußkörpers unter dem Sandstrahlgebläse mußte vermieden werden, da zu beobachten war, daß der scharf auslaufende Kronenrand beim Strahlen beschädigt wurde.

Die Gußkörper wurden gekennzeichnet und zur Beurteilung bereitgelegt.

7. Auswertung und Ergebnisse

Insgesamt wurden nach der beschriebenen Versuchsdurchführung 53 Prüfkörper hergestellt; davon jeweils 19 mit der Degussa-Schleuder und nach dem Heraeus Vakuum-Druckgußverfahren, 15 mit der Galloni-Hochfrequenz-Schleuder. Zum Abschluß jeder Versuchsreihe fand jeweils ein Guß in die wieder auf Raumtemperatur (ca. 20°C) erkaltete Gußform statt. (Tab. 1)

Die Begutachtung der Gußkörper erfolgte makroskopisch und mikroskopisch nach dem Ausbetten bzw. Absäuern, wobei die Kriterien für den einwandfreien Guß

- 1) Guß- und Oberflächenbeschaffenheit
- 2) Paßgenauigkeit
- 3) Metallographische Eigenschaft
- 4) Härte

zur Bewertung kamen.

7.1. Guß- und Oberflächenbeschaffenheit

Nach dem Ausbetten erfolgte die Überprüfung der Oberflächenbeschaffenheit der Gußkörper. In erster Linie sollten Rauigkeiten, Makrolunker, Oxidschicht und Gußfehler festgestellt werden. Der besondere Augenmerk richtete sich auf den einwandfreien Kronenrand, der in unserer Versuchsreihe einen Indikator für die Anwendbarkeit der herabgesetzten Vorwärmtemperatur darstellte.

Alle Prüfkörper mit makroskopisch erkennbarem Defekt wurden als "nicht ausgeflossen" deklariert und verworfen. (Tab. 1 und Abb. 17) Die verbliebenen Prüfkörper wurden der weiteren Begutachtung zugeführt.

Die Oberfläche erwies sich makroskopisch als glatt und frei von Rauigkeiten. Eine Differenz zwischen den

verschiedenen Gußverfahren bestand nicht. An 2 Prüfkörpern waren kleine Gußperlen als Folge von Gasblasen in der Einbettmasse zu beobachten. Makroporositäten konnten an keinem vollständig ausgeflossenen Gußobjekt festgestellt werden.

Die Oxidschicht war an den nach dem Vakuum-Druckgußverfahren hergestellten Gußobjekten bei jeder Vorwärmtemperatur etwa gleich stark. Bei den mit der Tiegelschleuder TS 1 gegossenen Prüfkörper konnte mit sinkender Vorwärmtemperatur eine Abnahme der Oxidation ab der Vorwärmtemperatur von 628°C und tiefer verzeichnet werden. In der Galloni - Reihe fehlte - mit einer Ausnahme - ab 534°C und niedriger die Oxidschicht vollkommen. Die bei Raumtemperatur gegossenen Gußkörper zeigten allesamt einen leichten Goldglanz.

Wie erwartet ergab sich in Bezug auf das vollständige Ausfließen keine scharfe Temperaturgrenze zwischen positivem und negativem Gußresultat. So konnte kein kritischer Temperaturpunkt, sondern infolge der Streuung durch Fehler nur ein Temperaturbereich ermittelt werden.

Bei der Tiegelschleuder TS 1 lag dieser Bereich etwa bei 600°C bis 614°C .

Für das Combilabor CL-G konnte man die Zone bei ca. 560°C festlegen, wobei in dieser Reihe die positiven und negativen Werte weniger streuten. (Abb. 17)

Die Gußkörper der Galloni-Serie waren bis zur Vorwärmtemperatur von 296°C vollständig ausgeflossen. Wegen der ungenügenden Expansion der Einbettmasse im Bereich bis 300°C , fand der letzte Gußversuch bei 296°C statt. (Vergl. 7.2.) Im Gegensatz zu den anderen Geräten konnten an dem bei Raumtemperatur gegossenen Prüfkörper dieser Reihe nur relativ kleine Defekte festgestellt werden. (Abb. 19)

<u>DEGUSSA</u>	<u>GALLONI</u>	<u>HERAEUS</u>
D19 (20)	G15 (20)	H19 (20)
D5 (504)	G14 296 x	H8 (400)
D4 (556)	G13 326 x	H7 (466)
D7 (587)	G12 355 x	H6 (501)
D14 (592)	G11 381	H11 (538)
D3 600 x	G10 405 x	H9 (549)
D16 (604)	G9 419	H10 (550)
D13 610	G8 448	H15 (560)
D8 (610)	G7 469	H18 560
D6 (612)	G5 508	H5 565
D17 614	G6 534	H17 567
D15 (614)	G4 553	H13 569
D18 616	G3 597 x	H16 570
D10 (617)	G2 654 x	H14 572
D12 621	G1 695	H12 576 x
D9 627		H4 623
D11 628		H3 660 x
D2 650 x		H2 705
D1 709		H1 753

Tabelle 1:

Vorwärmtemperatur beim Guß der Prüfkörper mit Angabe der Probennummer. Nicht vollständig ausgeflossene Güsse in Klammern.

Mit x gekennzeichnete Probe: Gefügeuntersuchung und Härtemessung

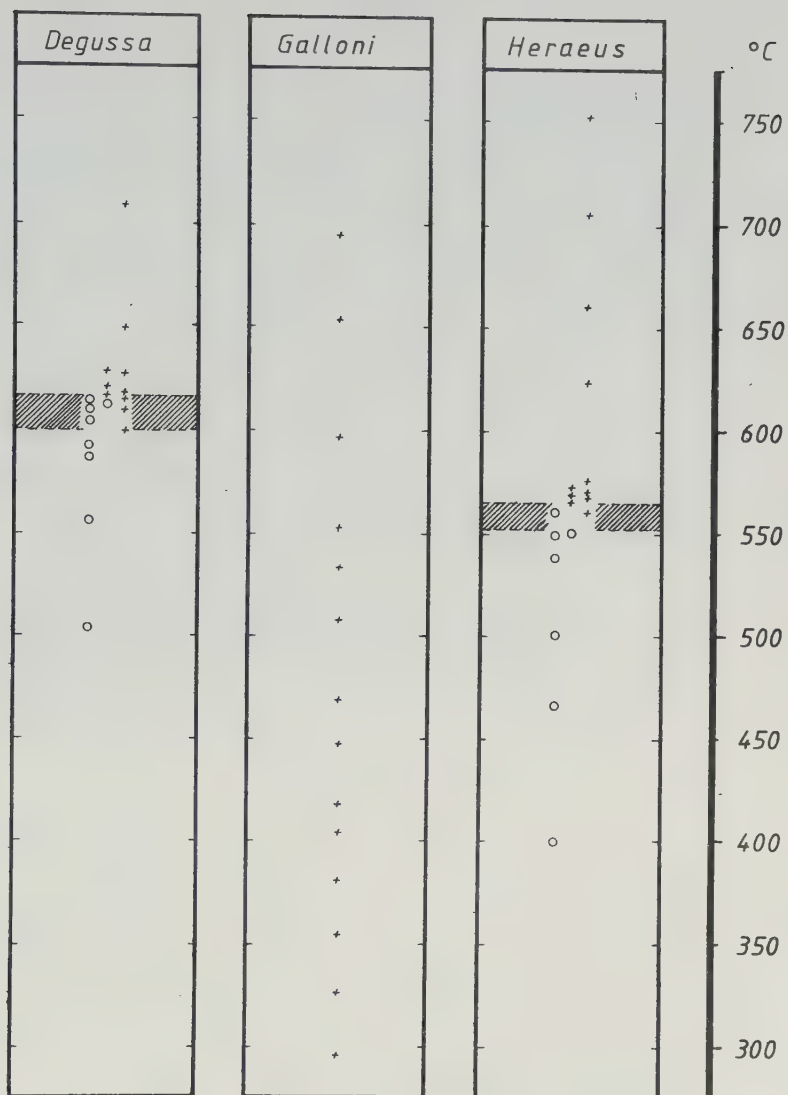


Abb. 17: Verzeichnis der positiven (+) und negativen (o) Gußresultate

7.2. Paßgenauigkeit

Nach dem Absäuern im Neacid^R-Bad fand die Prüfung der Paßgenauigkeit der Gußstücke statt. Diese Eigenschaft des Gußkörpers stellte neben dem vollständigen Ausfließen das zweite entscheidende Kriterium zur Begutachtung der Verwertbarkeit des relativen Kaltgusses dar.

Die Überprüfung erfolgte auf dem gedrehten Kegels stumpf, der auch zur Fertigung der Prüfkörper diente.

Den Forderungen eines exakten Randschlusses entsprechend, der eine Bedingung für das reaktionsfreie marginale Parodontium darstellt, wird eine möglichst schmale Zementfuge angestrebt. Der feine Randspalt ist unvermeidbar und kann als Maß der Gußgenauigkeit gelten. Negativ wirken sich hier zum einen Fehler bei der Abdrucknahme, Modellherstellung und dem Gießen aus. Zum anderen setzen technische Probleme, wie das durch chemische bzw. physikalische Eigenschaften variable Form- und Volumenverhalten der Abdruckmasse, des Modellgipses, des Modellierwachses, der Einbettmasse und der Gußlegierung, der Gußgenauigkeit Grenzen.

Die Toleranz der Spaltbreite liegt im Bereich von 10 - 25 μ . (WEIKART^{40,41}, ILG, BEEK) Nach REHBERG²⁸ verdienen Kronen mit einem nachweisbaren Randspalt von 20 μ das Prädikat "exakter Randschluß". Sie sind seiner Meinung nach das Optimum dessen was durch die zahnärztliche Technik erreicht werden kann. REITHER²⁹ fand Mittelwerte von 42 μ , wobei das Wachstmodell auf dem Modellstumpf bereits schon einen Spalt von 22 μ aufwies. DREYER-JØRGENSEN¹¹ bezeichnet aufgrund längerer klinischer Beobachtungen Spaltbreiten bis 50 μ , das entspricht etwa der Stärke eines Menschenhaares, als "genügende klinische Präzision". Bei größeren Randspalten ist mit verstärktem Auftreten von Sekundärkaries zu rechnen (11,28).

Da in unserem Falle die Modellation und die Überprüfung der Paßgenauigkeit des Prüfkörpers auf ein und demselben Modell erfolgte, konnte keine Ungenauigkeit durch Abdruck bzw. durch Modellherstellung auftreten.

Die Spaltbreite zwischen Stumpf und Krone wurde mit dem Zeiss-Meßmikroskop vermessen. Dies geschah zunächst senkrecht auf die Kronenachse (Abb.16), beginnend an der Seite des Gußstiftansatzes und dann an drei weiteren Stellen des Kronenrandes, jeweils um 90° gedreht.

Bei dieser Messung zeigten sich Fehlstellen am Kronenrand, die makroskopisch nicht feststellbar waren. Es galt herauszufinden, ob der Rand scharfkantig ausgeflossen war (Abb.20) oder ob der Füllungsdruck für eine saubere und vollständige Formfüllung nicht genügte (Abb.21).

Der Randspalt zwischen Stumpf und Gußobjekt wurde in einer zweiten Meßreihe parallel zur Schrägfläche des Randwulstes gemessen (Abb.16). Bei dieser Auswertung machten sich die vorher beschriebenen Defekte am Kronenrand nicht bemerkbar.

Die Messungen wurden jeweils dreimal durchgeführt und die Werte gemittelt (Tab.2).

Tabelle 2/1:
Messung der Paßgenauigkeit
(Werte in μ)

Prüf- körper	Temp. °C	Meßpunkt				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B
D3	600	38	48	38	36	19
D13	610	41	47	48	50	33
D17	614	29	24	30	28	13
D18	616	33	36	32	38	18
D10	617	22	41	37	25	11
D12	621	26	24	27	42	16
D9	627	47	38	45	51	28
D11	628	32	28	38	27	25
D2	650	25	28	35	32	17
D1	709	8	17	16	30	8

Tabelle 2/2:

Messung der Paßgenauigkeit
(Werte in μ)

Prüf- körper	Temp. °C	Meßpunkt				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B
G15	20	227	292	238	302	134
G14	296	103	108	105	110	72
G13	326	50	98	78	85	48
G12	355	26	35	32	40	22
G11	381	28	32	37	28	25
G10	405	22	31	35	29	15
G9	419	10	17	15	10	8
G8	448	25	18	10	31	12
G7	469	23	32	34	36	21
G5	508	35	35	31	36	28
G6	534	48	43	52	40	30
G4	553	48	44	39	32	25
G3	597	35	31	36	28	22
G2	654	25	36	40	40	23
G1	695	42	40	37	45	32

Tabelle 2/3:
Messung der Paßgenauigkeit
(Werte in μ)

Prüf- körper	Temp. °C	Meßpunkt				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B
H18	560	34	49	35	37	19
H5	565	25	30	33	28	21
H17	567	53	51	42	47	38
H13	569	36	30	32	48	28
H16	570	31	37	34	29	26
H14	572	37	24	31	32	21
H12	576	22	22	28	26	18
H4	623	5	15	10	8	5
H3	660	19	27	25	19	19
H2	705	10	22	17	11	10
H1	753	10	12	8	8	4

7.3. Metallographische Untersuchung

Nach Prüfung der Paßgenauigkeit wurden 10 Prüfkörper zur Begutachtung des Gußgefüges ausgewählt. Dabei sollten homologe Objekte, d.h. bei etwa gleicher Vorwärmtemperatur vorgenommene Güsse aus den drei Versuchsreihen miteinander verglichen werden. Zur Abklärung, ob der relative Kaltguß ein feineres Korn mit sich bringt, wurden auch die bei niedriger Vorwärmtemperatur vergossenen Gußobjekte der Galloni-Reihe überprüft.

Der Schnitt erfolgte in occlusal-cervicaler Richtung und zwar so, daß der Gußstiftansatz einbezogen war. (Abb. 8) Nach der Einbettung in Technovit 4004 der Firma Kulzer folgte die Probenpräparation mit Schmirgelpapier zunehmender Feinheit bis Körnung 600. Anschließend wurden die Schliffe auf Leinenscheiben mit Diamantpaste von zunächst $3\text{ }\mu$ und später $0,25\text{ }\mu$ Korngröße hochglanzpoliert.

Zur Ätzung der Schlifffläche wurde eine Mischung von Chrom-6-oxid und HCl verwendet.

Die Überprüfung fand mit dem Leitz Metallmikroskop MM5 statt. Dabei konnten an allen Prüfkörpern Mikroporositäten wechselnder Anzahl speziell am Gußstiftansatz beobachtet werden. Ein Unterschied zwischen den einzelnen Gießverfahren bestand nicht.

Beim Prüfkörper G12 war ein Einschluß am Kronendeckel festzustellen, im Speiser von Objekt G10 fanden sich zwei große Luftblasen. (Abb. 18)

Die Bestimmung der Kornzahl erfolgte an zwei Stellen; zum einen am Kronendeckel, zum anderen an dem vom Gußkanal gegenüberliegenden Kronenrand. Tabelle 3 gibt die gemessenen Kornzahlen wieder.

Probe (Vorwärmtemp. in °C)	Körner/mm ²	
	Kronenrand	Kronendeckel
D2 (650)	2400	2100
D3 (600)	2300	1800
G2 (654)	2700	2200
G3 (597)	2100	1900
G10 (405)	2300	2000
G12 (355)	2100	1900
G13 (326)	2000	1900
G14 (296)	2700	2700
H3 (660)	2700	2200
H12 (576)	2600	2400

Tabelle 3:
Kornzahlen

7.4. Härtemessung

An allen 10 Prüfbjekten wurde im Bereich des Kronendeckels eine Härtemessung nach Vickers, die in diesem Meßbereich auch der Brinellhärte entspricht, durchgeführt. Die Bestimmung der Vickertshärte erfolgte an jeweils fünf Punkten mit einer Prüflast von 5 kp, die 30 Sekunden einwirkte. Als Mittelwerte erhielten wir die in Tabelle 4 aufgeführten Ergebnisse. (Einzelresultate Tabelle B/1-5)

Bei allen Prüfkörpern wurde praktisch die von der Firma Degussa für Degulor M angegebene Härte von HV = 220 erreicht. Die Schwankungsbreite innerhalb der Werte bewegt sich im Rahmen der Ablesungenauigkeit.

Die in die kalte Form ausgeführten Güsse weisen zwar vorwiegend eine verminderte Härte auf, jedoch ist dieser Unterschied geringfügig. Eine eklatante Härteverminderung, wie sie zu erwarten wäre, blieb aus.

Probe	Vorwärmtemp.	HV _{mittel}
D2	650°C	221/5/30
D3	600°C	216/5/30
G2	654°C	225/5/30
G3	597°C	221/5/30
G10	405°C	228/5/30
G12	355°C	214/5/30
G13	326°C	210/5/30
G14	296°C	210/5/30
H3	660°C	213/5/30
H13	576°C	212/5/30

Tabelle 4 :

Meßergebnisse der Härtebestimmung (Mittelwerte)



Abb. 18: Gasblasen im Speiseransatz (Vergr. 25-fach)

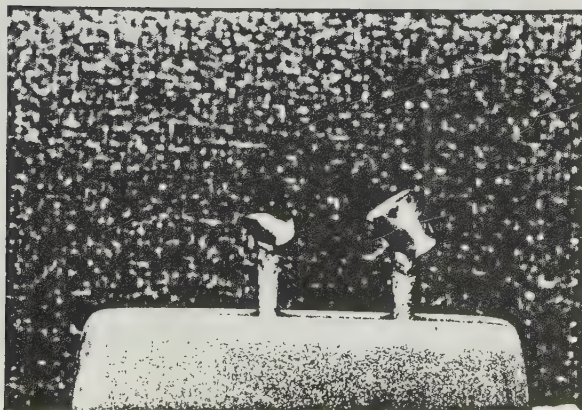


Abb. 19: Kaltgüsse bei ca. 20°C

links Objekt D19 (Degussa), rechts G15 (Galloni)



Abb. 20: Scharfkantig ausgeflossener Kronenrand .



Abb. 21: Unvollständig ausgeflossener Kronenrand; Oxid-
schicht beim Zusammenfluß der Schmelze (Pfeil)

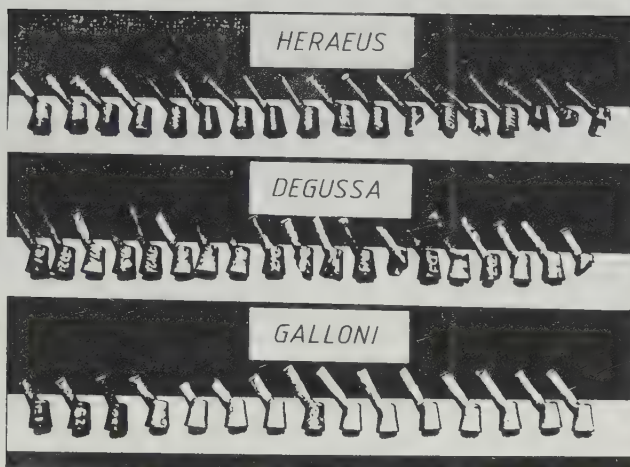


Abb. 22: Prüfkörper vor dem Absäuern, nach der Vorwärmtemperatur geordnet

8. Diskussion

Beim Vergleich der drei Gußgeräte war bei der gegebenen Problemstellung primär die Frage nach dem Formfüllvermögen von Interesse. Die Gußergebnisse zeigen, daß in dieser Beziehung das Vakuum-Druckgußverfahren dem herkömmlichen Schleuderguß (Tiegelschleuder TS 1) überlegen ist. Als bestes Gerät erwies sich jedoch in den Gießversuchen die Galloni-Hochfrequenzschleuder. Mit dieser Gußschleuder war es sogar möglich, das Prüfobjekt ohne Vorwärmung fast vollständig zu speisen.

Die Formfüllung ist direkt proportional dem Füllungsdruck, der auf die flüssige Schmelze einwirkt. Diese Größe wird u.a. von der Form und Dimension des Gußkanals, der Trichterform und der Metallmenge beeinflusst. (14, 22, 25, 33, 34, 41)

Der Gießdruck ist beim Vakuum-Druckguß von der Höhe des Preßdruckes abhängig. Beim Schleuderguß wird die Qualität des Gerätes nicht so sehr von der Höhe der Zentrifugalkraft, sondern bevorzugt von dem Beschleunigungsvermögen der Schleuder bestimmt (FUCHS¹⁴). Von ganz entscheidender Bedeutung ist nämlich, daß die Krafteinwirkung schlagartig bei Beginn des Gusses, also während der Füllzeit erfolgt. Je schneller ein Gußgerät die Hohlform füllt, desto besser wird das Resultat in bezug auf Ausfließen und Vermeidung von Lunker sein. Dies ist speziell beim relativen Kaltguß wichtig (VOSS³⁷). Der nach dieser Zeit auftretende Füllungsdruck dient nur noch zur Nachsättigung des Gußstückes.

Die Füllungszeit beim Zentrifugalguß beschreibt ANDERSON¹ mit 0,2 Sekunden. MEYERS, PFEIFER, SOUDER, HERBERT und THOMSON geben 0,1 Sekunde an (zit.n. FUCHS¹⁴). Nach MEYERS²⁶ und BEEK² sind in dieser Hinsicht die Luftdruck-

geräte eindeutig den Gußschleudern überlegen, da sie die Form wesentlich schneller füllen. Dieses Resultat widerspricht unseren Beobachtungen, da gerade die Galloni-Gußschleuder die besten Ergebnisse im Ausfließen erzielte.

Die günstigen Gußergebnisse beim Kaltguß mit dem Galloni-Gerät sprechen für einen ausgezeichneten Beschleunigungswert und für eine extrem kurze Füllungszeit. In welchem Ausmaß der Antrieb durch Elektromotor zum einen oder die technische Konstruktion des Schmelztiegels zum anderen den Guß beeinflußt und bei zwei Horizontalschleudern zu solch stark differierenden Resultaten führt, ist nicht eindeutig zu klären. Bei der Tiegelschleuder TS 1 liegt die Austrittsöffnung für die Schmelze nur knapp oberhalb des Metallspiegels, an der Spitze des fast horizontal gelagerten Schmelztiegels. Die flüssige Legierung wird somit schon bei der geringsten Beschleunigungsbewegung austreten. Im Gegensatz hierzu ist der Tiegel bei der Hochfrequenzschleuder senkrecht angeordnet und die Austrittsöffnung liegt ca. 2 cm über der Schmelze. Beim Schleudervorgang muß die Legierung zuerst diese Strecke an der fast senkrechten Tiegelwand überwinden. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß der Füllungsvorgang nicht initial erfolgt, sondern erst wenn das Metall eine genügend große Zentripetalbeschleunigung erreicht hat. Als Folge wird das Metall mit hoher kinetischer Energie auf die Gußform auftreffen und damit einen hohen Füllungsdruck erzeugen.

Ob beim Galloni-Gerät eine höhere Temperatur der Schmelze mit den damit verbundenen günstigeren Kohäsionskoeffizienten vorlag, kann in Ermangelung der Möglichkeit zur Messung nicht vollkommen verneint werden. Die metallurgischen Befunde bei der Kornauszählung und die Ergebnisse der Härteprüfung widersprechen jedoch

dieser Vermutung. Sollte es eine Differenz in der Schmelztemperatur gegeben haben, so war sie unwesentlich.

Bei allen Gußproben wurden sehr hohe Kornzahlen erzielt. Generell zeigte sich der Kronenrand feinkörniger als der Kronendeckel. Diese Werte stehen im Widerspruch zu der Feststellung von SCHÖN³⁴, bestätigen jedoch die Beobachtungen von FINGER, JUNG und QUAST¹³ und die Überlegungen von CHVORINOW über die gerichtete Erstarrung.

Eine Kornverfeinerung beim relativen Kaltguß, wie sie nach den Regeln der Metallurgie und den Angaben von ANDERSON¹, BONSAK³, MARX²⁵, RITZE³⁰, SCHÖN³⁴, WAGNER³⁸, WEIKART⁴¹ u.a. zu erwarten war, konnte nicht festgestellt werden. Dieser interessante Aspekt deckt sich mit den Feststellungen von LOEBICH²³, der Degulor B bei einer Vorwärmtemperatur von 500 bis 700°C vergoß und keinen bedeutsamen Unterschied bei den Kornzahlen bemerkte. Es ist daher anzunehmen, daß die Legierungszusammensetzung den entscheidenden Einfluß auf die Kornzahl nimmt.

Bei der Härtemessung wurde mit der HV im Bereich von 210 bis 228 die geforderte Endhärte HV= 220 von allen Prüfkörpern in etwa erreicht. Die Schwankungsbreite der Werte ist minimal und entspricht der Meßungenauigkeit. Eine direkte Relation zwischen Kornzahl und Härte bestand nicht. Dieser Widerspruch gegenüber dem allgemein gültigen metallurgischen Gesetz, wonach feinkörnige Gefüge sich durch größere Härte auszeichnen, beschrieb bereits PHILLIPS²⁷. Auch FINGER, JUNG und QUAST¹³ konnten in ihren Versuchen nur teilweise eine Relation zwischen Kornzahl und Härte feststellen.

Die Verteilung der Mikroporositäten entsprach den Beobachtungen von FINGER, JUNG und QUAST¹³, FUCHS¹⁴, MARX²⁵ und SCHÖN³⁴, die eine Lokalisation der Mikroporositäten

bevorzugt um den Speiseransatz beschrieben. Ein Unterschied zwischen den einzelnen Gußgeräten bestand wie bei den Kornzahlen und der Härte auch hier nicht. Diese Aussage kann jedoch infolge der geringen Probenzahl nur bedingt getroffen werden.

Das Resultat dieser Untersuchung für die Praxis wäre die Tatsache, daß der Guß in die kalte Form keinerlei Vorteile mit sich bringt. Eine erniedrigte Temperatur der Gußform ist also nicht sinnvoll. Jedoch kann behauptet werden, daß die Galloni-Hochfrequenzschleuder den höchsten Gießdruck erbringt und somit beim Guß bei der üblichen Formtemperatur einen gewissen Sicherheitsspielraum bietet. Dies wird sich besonders beim Guß sehr grauziler Objekte auswirken.

9. Zusammenfassung

Beim Vergleich der Gußergebnisse von Vakuum-Druckguß und Schleuderguß in Hinsicht auf den relativen Kaltguß wurden drei der meist verwendeten Gußgeräte erprobt. Es kamen zur Anwendung die Tiegelschleuder TS 1 der Firma Degussa, die Galloni-Hochfrequenzschleuder (beide Schleudergußgeräte) und das Vakuum-Druckgußgerät Combilabor CL-G der Firma Heraeus.

Dabei zeigte sich, daß bei erniedrigter Vorwärmtemperatur das Vakuum-Druckgußverfahren im Vergleich zum herkömmlichen Zentrifugalguß zwar bessere Gußergebnisse liefert, die Galloni-Hochfrequenzschleuder jedoch den höchsten Füllungsdruck erbringt und somit die besten Resultate bietet.

In Stichproben wurden die Kornzahl und die Härte der Gußkörper überprüft. Eine wesentliche Differenz der Kornzahl und Härte zum üblich vorgewärmten Guß besteht beim relativen Kaltguß nicht. Zwischen Kornzahl und Härte konnte keine Relation ermittelt werden.

Daneben sollte die Abkühlung der Form beim Gußverzug bestimmt werden. Es wurde festgestellt, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen die Temperaturerniedrigung beim Gußverzug zu vernachlässigen ist.

10. Anhang: Meßwerte

Tabelle A/1

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch	1			2		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	30,75	738		31,0	745	
10	30,7	737	-1	30,95	743	-2
20	30,5	732	-6	30,85	741	-4
30	30,4	730	-8	30,75	738	-7
40	30,2	725	-13	30,6	735	-10
50	30,0	720	-18	30,3	728	-17
1/00	29,6	711	-27	30,05	722	-23
10	29,4	706		29,7	714	
20	29,2	701		29,4	706	
30	28,7	690		29,0	697	
40	28,4	682		28,6	688	
50	27,8	668		28,1	676	
2/00	27,4	659	-77	27,7	666	-78
10	26,85	646		27,1	652	
20	26,4	635		26,65	641	
30	25,9	623		26,1	628	
40	25,4	611		25,6	616	
50	24,8	597		25,1	605	
3/00	24,2	583	-155	24,5	590	-154
10	23,6	569		23,8	574	
20	23,2	560		23,3	562	
30	22,6	546		22,8	551	
40	22,1	534		22,3	539	
50	21,6	522		21,7	525	
4/00	20,9	506	-232	21,3	516	-229

Tabelle A/2

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch		3		4		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	31,0	745		29,95	719	
10	30,85	741	-4	29,65	712	-7
20	30,8	740	-5	29,55	710	-9
30	30,7	737	-8	29,4	706	-13
40	30,55	734	-11	29,2	701	-18
50	30,45	731	-14	28,9	695	-24
1/00	30,2	725	-19	28,6	687	-32
10	30,0	721		28,3	680	
20	29,7	714		27,8	668	
30	29,4	706		27,5	661	
40	29,1	699		27,2	654	
50	28,55	686		26,7	642	
2/00	28,1	675	-69	26,3	633	-86
10	27,65	665		25,9	623	
20	27,2	654		25,5	614	
30	26,7	642		24,9	600	
40	26,25	632		24,3	586	
50	25,8	621		23,7	572	
3/00	25,3	609	-135	23,3	562	-157
10	24,7	595				
20	24,1	581				
30	23,6	569				
40	23,1	558				
50	22,6	546				
4/00	22,2	537				

Tabelle A/3

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch		5			6	
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	30,95	743		31,5	756	
10	30,75	739	-4	31,45	755	-1
20	30,65	736	-7	31,45	755	-1
30	30,45	731	-12	31,35	753	-3
40	30,35	729	-14	31,2	749	-7
50	30,2	725	-18	31,05	746	-10
1/00	29,95	719	-24	30,8	740	-16
10	29,55	710		30,55	734	
20	29,3	704		30,2	726	
30	28,8	692		29,8	716	
40	28,1	676		29,4	706	
50	27,6	664		28,55	686	
2/00	27,1	652	-91	28,4	682	-74
10	26,6	640		27,8	668	
20	26,1	628		27,35	658	
30	25,6	616		26,8	645	
40	25,1	605		26,3	633	
50	24,6	592		25,7	619	
3/00	23,9	576	-167	25,2	607	-149
10	23,3	562				
20	22,9	552				
30	22,4	541				
40	21,8	527				
50	21,3	516				
4/00	20,7	501	-242			

Tabelle A/4

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Kuvettenboden

Versuch	7			8		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	31,7	761		31,6	759	
10	31,65	759	-2	31,5	757	-2
20	31,65	759	-2	31,3	752	-7
30	31,55	758	-3	31,2	749	-10
40	31,4	754	-7	31,0	745	-14
50	31,2	749	-12	30,75	739	-20
1/00	30,9	742	-19	30,5	732	-27
10	30,65	736		30,2	726	
20	30,3	728		29,9	718	
30	30,0	721		29,55	710	
40	29,45	708		29,0	697	
50	29,0	697		28,6	687	
2/00	28,5	685	-76	28,0	673	-86
10	27,85	670		27,5	661	
20	27,4	659		27,0	649	
30	26,8	645		26,5	638	
40	26,2	630		25,9	623	
50	25,7	619		25,4	612	
3/00	25,2	607	-154	24,8	597	-162
10	24,5	590				
20	23,9	576				
30	23,4	565				
40	22,8	551				
50	22,2	537				
4/00	21,6	522	-239			

Tabelle A/5

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch	9			10		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	31,9	766		31,6	759	
10	31,8	764	-2	31,55	757	-2
20	31,7	761	-5	31,45	755	-4
30	31,65	759	-7	31,4	754	-5
40	31,5	756	-10	31,2	749	-10
50	31,3	752	-14	31,0	744	-15
1/00	31,05	746	-20	30,75	738	-21
10	30,75	738		30,45	731	
20	30,5	732		30,2	725	
30	30,05	722		29,9	718	
40	29,6	711		29,5	708	
50	29,25	702		29,1	699	
2/00	28,65	688	-78	28,55	686	-75
10	28,05	674		28,0	673	
20	27,6	663		27,5	661	
30	27,05	650		27,15	652	
40	26,5	637		26,6	639	
50	25,95	624		26,1	628	
3/00	25,4	611	-155	25,55	615	-144
10	24,75	596		25,05	603	
20	24,1	581		24,5	590	
30	23,6	569		23,8	574	
40	23,0	562		23,3	562	
50	22,45	542		22,75	549	
4/00	21,9	529	-237	22,25	537	-222

Tabelle A/6

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch	11			12		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	31,5	756		31,05	746	
10	31,45	755	-1	31,0	745	-1
20	31,4	754	-2	30,95	743	-3
30	31,25	751	-5	30,85	741	-5
40	31,1	747	-9	30,7	737	-9
50	31,0	745	-11	30,55	734	-12
1/00	30,8	740	-16	30,4	729	-17
10	30,7	737		30,0	721	
20	30,45	731		29,8	716	
30	30,25	727		29,5	709	
40	29,9	718		29,1	699	
50	29,5	709		28,65	689	
2/00	29,1	699	-57	28,1	675	-71
10	28,8	692		27,7	666	
20	28,2	678		27,35	658	
30	27,7	666		26,8	645	
40	27,3	656		26,35	634	
50	26,9	646		25,75	620	
3/00	26,4	635	-121	25,3	609	-137
10				24,65	594	
20				24,1	581	
30				23,55	568	
40				23,0	555	
50				22,5	544	
4/00				22,0	532	-214

Tabelle A/7

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 5 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch	13			14		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	25,8	621		23,75	573	
10	25,8	621	0	23,75	573	0
20	25,75	619	-2	23,7	572	-1
30	25,7	618	-3	23,65	570	-3
40	25,55	615	-6	23,5	567	-6
50	25,4	611	-10	23,4	564	-9
1/00	25,25	608	-13	23,25	561	-12
10	24,95	600		23,0	555	
20	24,65	594		22,8	550	
30	24,4	588		22,55	544	
40	24,0	579		22,3	539	
50	23,7	571		22,0	532	
2/00	23,4	564	-57	21,65	523	-50
10	23,05	556		21,3	515	
20	22,65	547		20,8	503	
30	22,25	537		20,3	492	
40	21,8	527		19,8	480	
50	21,4	517		19,4	471	
3/00	20,8	503	-118	18,9	459	-114
10	20,3	492		18,5	450	
20	19,8	480		18,0	438	
30	19,3	469		17,6	429	
40	18,8	457		17,3	421	
50	18,3	445		16,8	410	
4/00	17,8	433	-188	16,4	400	-173

Tabelle A/8

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 8 mm Abstand vom Kivettenboden

Versuch	15			16		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek. mV	°C	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	32,15	772		31,65	760	
10	32,05	770	-2	31,6	759	-1
20	31,95	768	-4	31,55	758	-2
30	31,9	766	-6	31,5	757	-3
40	31,75	763	-9	31,5	756	-4
50	31,65	760	-12	31,45	754	-6
1/00	31,5	757	-15	31,25	750	-10
10	31,35	753		31,05	746	
20	31,1	747		30,8	740	
30	30,75	739		30,5	733	
40	30,4	730		30,2	725	
50	30,05	722		29,8	716	
2/00	29,55	710	-62	29,4	706	-54
10	29,0	697		28,9	694	
20	28,6	687		28,4	683	
30	28,0	673		27,9	671	
40	27,5	661		27,4	659	
50	27,0	649		26,9	647	
3/00	26,4	635	-137	26,4	635	-125
10	25,9	623		25,9	623	
20	25,4	612		25,4	612	
30	24,8	598		24,8	598	
40	24,2	584		24,3	586	
50	23,7	572		23,8	574	
4/00	23,2	560	-212	23,3	573	-197

Tabelle A/9

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 8 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch	17			18		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.	Thermo- spannung	Temp.	Temp. Diff.
Min./Sek.	mV	°C	°C	mV	°C	°C
0/00	31,7	762		32,15	772	
10	31,65	760	-2	32,05	770	-2
20	31,6	759	-3	32,05	769	-3
30	31,55	758	-4	31,95	767	-5
40	31,5	756	-6	31,9	766	-6
50	31,45	755	-7	31,75	762	-10
1/00	31,3	751	-11	31,6	760	-12
10	31,1	747		31,45	755	
20	30,9	742		31,3	752	
30	30,65	736		30,95	743	
40	30,3	728		30,65	736	
50	29,95	720		30,35	729	
2/00	29,55	709	-53	29,85	717	-55
10	29,1	699		29,4	706	
20	28,7	690		28,9	694	
30	28,1	676		28,3	680	
40	27,7	666		27,8	668	
50	27,2	654		27,4	659	
3/00	26,7	642	-120	26,8	645	-127
10	26,4	635		26,3	633	
20	25,7	619		25,8	621	
30	25,2	607		25,3	609	
40	24,6	593		24,6	593	
50	24,0	579		24,0	579	
4/00	23,6	569	-193	23,5	567	-205

Tabelle A/10

Meßwerte: Temperaturabfall beim Gußverzug

Meßpunkt: 8 mm Abstand vom Küvettenboden

Versuch		19		
Zeit	Thermo- spannung	Temp.	Temp.	
Min./Sek.	mV	°C	°C	Diff.
0/00	23,1	557		
10	23,0	556	-1	
20	22,95	554	-3	
30	22,9	553	-4	
40	22,8	551	-6	
50	22,7	549	-8	
1/00	22,6	546	-11	
10	22,4	542		
20	22,2	537		
30	22,0	532		
40	21,7	525		
50	21,45	519		
2/00	21,2	513	-44	
10	20,7	501		
20	20,3	492		
30	19,9	483		
40	19,5	473		
50	19,2	466		
3/00	18,7	454	-103	
10	18,3	445		
20	17,8	433		
30	17,5	426		
40	17,1	417		
50	16,7	407		
4/00	16,3	398	-159	

Tabelle B/1

Einzelergebnisse der Härtemessung nach Vickers

D2

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
20,0	20,0	232	$HV_{\text{mittel}} = 221/5/30$
20,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
20,5	20,5	221	
20,5			
20,0	20,0	232	
20,0			

D3

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
21,0			
21,0	21,0	210	
20,5			
21,0	20,8	214	
20,5			
20,5	20,5	221	
20,5			
20,5	20,5	221	
21,0			
20,5	20,8	214	$HV_{\text{mittel}} = 216/5/30$

Tabelle B/2

Einzelergebnisse der Härtemessung nach Vickers

G2

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
20,0			
20,0	20,0	232	
20,5			
20,0	20,3	225	
20,5			
20,5	20,5	221	
20,0			
20,5	20,3	225	
20,5			
20,5	20,5	221	
			$HV_{\text{mittel}} = 225/5/30$

G3

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
20,5	20,8	214	
21,0			
21,0	21,0	210	
			$HV_{\text{mittel}} = 211/5/30$

Tabelle B/3

Einzelergebnisse der Härtemessung nach Vickers

G10

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
20,0			
20,0	20,0	232	
20,0			
20,0	20,0	232	
20,5			
20,5	20,5	221	
20,0			
20,5	20,3	225	
20,0			
20,0	20,0	232	
			$HV_{\text{mittel}} = 228/5/30$

G12

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
20,5	20,8	214	
20,5			
20,5	20,5	221	
20,5			
20,5	20,2	214	
20,0			$HV_{\text{mittel}} = 214/5/30$

Tabelle B/4

Einzelergebnisse der Härtemessung nach Vickers

G13

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV
21,0		
21,0	21,0	210
21,0		
21,5	21,3	204
21,0		
21,0	21,0	210
21,0		
20,5	20,8	214
21,0		
20,5	20,8	214

$$HV_{\text{mittel}} = 210/5/30$$

G14

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV
21,0		
21,0	21,0	210
21,0		
21,0	21,0	210
21,0		
21,0	21,0	210
21,0		
21,0	21,0	210

Kronendeckel nicht
meßbar

$$HV_{\text{mittel}} = 210/5/30$$

Tabelle B/5

Einzelergebnisse der Härtemessung nach Vickers

H3

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
20,5	20,8	214	
21,0			
21,0	21,0	210	
20,5			
20,5	20,5	221	$HV_{\text{mittel}} = 213/5/30$

H12

$d_1 + d_2$	d_{mittel}	HV	
21,0			
21,0	21,0	210	
21,0			
20,5	20,8	214	
21,0			
21,0	21,0	210	
20,5			
21,0	20,8	214	
21,0			
21,0	21,0	210	$HV_{\text{mittel}} = 212/5/30$

11. LITERATURVERZEICHNIS

1. ANDERSON, J.N. Applied Dental Materials
Blackwell Scientific Publications
(1972)
2. BEEK, K.-H. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren und ihre praktische
Auswertung
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
13, 470 (1958)
3. BONSACK, Ch. Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
1, 5 (1953)
4. CRAWFORD, W.H. Selection and use of investments,
sprues, casting equipment and gold
alloys in making small castings
J. amer. dent. Ass.
27, 1459 (1940)
5. DEGUSSA Schmelzeinrichtungen
Degussa Brief (Neue Folge)
Nr. 20/21 (1954)
6. DEGUSSA Wie bekommt man dichte, lunker-
freie Güsse
Degussa Brief (Neue Folge)
Nr. 22 (1954)
7. DEGUSSA Wie vermeidet man Verfärbungen
an Goldlegierungen im Munde
Degussa Brief Nr. 37 (1965)

8. DEGUSSA Können Gußkegel aus Edelmetall-
Legierungen beliebig oft wieder-
vergossen werden
Degussa Brief 41, 14 (1970)
9. DEGUSSA Das Degussa-Präzisionsguß-System
Degussa Brief 42 (1972)
10. DEGUSSA Edelmetall - Taschenbuch
Degussa, Frankfurt a. M. (1967)
11. DREYER-JØRGENSEN Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
2, 461 (1958)
12. FAESCH, Th. Untersuchungen über Gußstruktur
und Gießverfahren bei verschie-
denen zahnärztlichen Kronen- und
Brückenlegierungen
Schweiz. Monatsschrift für Zahn-
heilkunde 49, 797 (1939)
13. FINGER, W.
JUNG, T.
QUAST, U. Das Gußgefüge nach Vakuum-Druck-
Guß und nach Schleuderguß
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
30, 111 (1975)
14. FUCHS, K.-D. Der Einfluß der Gußapparate auf
die Qualität des zahnärztlichen
Gusses
Med. Diss. Mainz (1967)

15. GRASSL, J.-F. Verbesserung der Oberfläche von
Güssen durch Netzmittel und Vakuum-
einbettung
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
18, 1057 (1954)
16. GRÜNDLER, H. Das moderne Guß- und Lötverfahren
in der Zahntechnik
Das Dentallabor
3, 113 / 4, 169 / 5, 227 (1968)
17. HEHRING, H. Einbettmassen
in Eichner, K., Leitfaden zahn-
ärztlicher Werkstoffe und ihrer
Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt Berlin
(1967)
18. HOLLENBACK, G.M. Vergleich der Genauigkeit von
drei verschiedenen Gußmethoden
Quintessenz Ref. 2219, 10 (1963)
19. KERR Fehlgüsse und ihre Ursachen
Hausmitteilung 1977
20. KUEFMANN, W.M. Gußfehler- und Gefügeuntersuchungen
bei Aufbrennlegierungen im Vergleich
von Schleuderguß und Vakuum-Druck-
Guß
Med. Diss. München (1977)

21. KYSELOVA, J. Kontraktionsdefekte der Metallgüsse
KYSELA, B. und Möglichkeiten ihrer Beseitigung
MARES, J. Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
13, 1310 (1958)
22. KYSELOVA, J. Der Einfluß der Gußapparate auf
KYSELA, B. das Vorkommen der Defekte in Dental-
MARES, J. güssen
Schweiz. Monatsschrift f. Zahnheil-
kunde
69, 403 (1959)
23. LOEBICH, O. Das Gefüge von Goldgußarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
4, 1149 (1953)
24. LOEBICH, O. Der Lunker und seine Vermeidung
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
8, 1037 (1953)
25. MARX, H. Über den Einfluß des Gußverfahrens
auf die Poren- und Lunkerbildung
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
10, 1220 (1967)
26. MEYERS, R.E. Time required to cast gold by
centrifugal force
J. amer. dent. Ass.
28, 2001 (1941)
27. PHILLIPS, R. Skinner's Science of Dental Materials
W.B. Saunders Company 1973

28. REHBERG, H.J. Exakter Randschluß - was ist das
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
26, 696 (1971)
29. REITHER, W. Neue Versuche zur Gußtechnik und
ihre Auswertung
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
20, 1252 (1965)
30. RITZE, H. Grundsätzliches zum Einbett- und
Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
10, 1206 (1967)
31. ROCHES, J.P. Technologische Untersuchungen
über zahnärztliche Schmelz- und
Gußverfahren
Schweiz. Monatsschrift f. Zahn-
heilkunde 57, 1 (1947)
32. SCHEFFLER, K. Der Einfluß verschiedener Gußmetho-
den auf die Beschaffenheit der Guß-
stücke in der zahnärztl. Praxis
Med. Diss. Frankfurt (1931)
33. SCHMITT, K.H. Die Vermeidung von Fehlern und
Mißerfolgen bei Metallgüssen
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
23, 1496 (1949)
34. SCHÖN, E. Experimentelle Untersuchungen des
Gußgefüges des Kronenrandes beim
Vakuumdruckguß
Med. Diss. München (1972)

35. SPRINGER, O. Thermoanalytische Untersuchungen
an gips- und phosphatgebundenen
Einbettmassen
Med. Diss. München (1974)
36. TAEGER, F. Moderne zahnärztliche Gußverfahren
Dtsch. Stomatologie 7, 182 (1957)
37. VOSS, R. Zu speziellen Fragen der Gußtechnik
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
10, 1220 (1967)
38. WAGNER, E. Edelmetalle
in Eichner, K.
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe
und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt Berlin
(1967)
39. WAGNER, E. Beitrag zum Präzisionsgußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
10, 1215 (1967)
40. WEIKART, P. Grenzen und Prüfung der Gußgenauig-
keit
Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift
12, 897 (1957)
41. WEIKART, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hauser Verlag München (1966)

Mein Dank gilt Herrn Prof.Dr.Dr. Peter Fuchs
für die Überlassung des Themas und den Ange-
stellten der Technologischen Abteilung der
Firma Degussa Pforzheim für die freundliche
Unterstützung bei der Werkstoffprüfung.

LEBENS LAUF

Ich, Helmut Ritter, wurde am 25. April 1948 in Ludwigshafen geboren.

Von 1955 bis 1959 besuchte ich die Volksschule in Ludwigshafen und wechselte anschließend in das Carl-Bosch-Gymnasium in Ludwigshafen über. Dort legte ich im Juni 1967 die Reifeprüfung ab. Nach dem Wehrdienst begann ich im Wintersemester 1969/70 das Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians Universität in München. Nach bestandener zahnärztlicher Prüfung erhielt ich am 5. August 1975 die Bestallung als Zahnarzt. Im Sommersemester 1972 begann ich das Studium der Medizin. Zur Zeit befinde ich mich im Staatsexamen.

